

**AERODINAMICA**  
**Prof. Paolo LUCHINI****000832***Programma d'esame*

- 1) Cenni di cinematica dei fluidi:** Definizione di fluido e proprietà fisiche dei fluidi - Atto di moto: punto di vista lagrangiano ed euleriano - Atto di moto regolare e sua descrizione analitica - Accelerazioni.
- 2) Dinamica dei fluidi:** Equazioni di conservazione della massa e teorema della quantità di moto - Chiusura del sistema: equazione dell'energia e complementare - Equazioni ridotte, equazioni di Eulero - Teorema di Bemoulli.
- 3) Moti irrotazionali:** Teorema di Bemoulli ed irrotazionalità - Moti armonici e loro proprietà - Moti piani e loro rappresentazione analitica, trasformazioni conformi e loro proprietà. Esempi di moto piano: correnti uniformi, sorgenti, vortici, doppiette; ogiva di Rankine e corrente su di un cilindro.
- 4) Moti vorticosi:** Vortici, loro proprietà e schemi di vortice - Teoremi sui vortici - Vortici nel moto piano, schiere e stabilità - Strati vorticosi e discontinuità.
- 5) Singolarità virtuali:** Singolarità nel piano e nello spazio - Correnti rappresentate mediante singolarità, esempi - Proprietà generali. Metodi numerici di soluzione; trasformazioni conformi e metodi di collocazione.
- 6) Azioni aerodinamiche:** Definizioni e scomposizione: coefficienti aerodinamici - Teoremi della quantità di moto e del momento della quantità di moto ed azioni aerodinamiche - Azioni aerodinamiche nel moto irrotazionale: masse apparenti e formule di Blasius - Correnti Euleriane e Paradosso D'Alembert.
- 7) Azioni deviatrici e circolazione:** Teorema di Kutta-Joukowski, condizione di Rutta e determinazione della circolazione - Profili in forma analitica - Profili sottili: soluzione diretta ed inversa; cenni al progetto di profili.
- 8) Azioni resistenti e scie:** Forze resistenti e modelli - Scie vorticose: modelli di von Karman e di Helmholtz.
- 9) Ala di apertura finita:** Teorema della quantità di moto nell'ala di apertura finita - Scia di Prandtl ed ipotesi semplificatrici - Vortice portante e resistenza indotta - Minima resistenza - Equazione integro-differenziale di Prandtl e sua soluzione: proprietà delle ali di apertura finita, coefficienti aerodinamici - Vortice portante nell'ala a freccia. Modelli numerici per la scia di Prandtl.
- 10) Proprietà dei moti dissipativi:** equazioni di Navier-Stokes e loro proprietà: soluzioni elementari, molteplicità di soluzioni, corrente al punto di ristagno e fra pareti convergenti.
- 11) Turbolenza:** Concetti elementari di moto caotico, non linearità e condizioni di passaggio al caos. Attrattori. Stabilità dei moti laminari, origine della turbolenza - Moti turbolenti e loro proprietà elementari - Equazioni indefinite del moto turbolento e sforzi di Reynolds - Equazione dell'energia e cascata turbolenta - Strutture coerenti - Misura di grandezze turbolente. Modelli di turbolenza: turbolenza di parete.
- 12) Lo strato limite:** Concetto di strato limite e modelli matematici - Equazioni indefinite ed integrali - Condizioni al contorno - Similitudine; soluzioni elementari di Blasius e di Falkner-Skan - Soluzioni approssimate: metodo di Pohlhausen - Resistenze di attrito - Separazione dello strato limite: effetti della separazione. Turbolenza nello strato limite - Similitudine: profili di velocità e di sforzo: legge della parete e legge della scia - Cenni alle scie turbolente. Misure di resistenza.
- 13) Moti comprimibili:** Caratteristiche e fronti d'onda - Moto subsonico e supersonico - Modello di fluido perfetto e sue proprietà - Correnti piane stazionarie linearizzate: portanza, resistenza e momenti dei profili sottili in regime supersonico. - Moti piani e caratteristiche - Trasformazioni odografiche e loro proprietà - Onde d'urto - Profili alari in corrente subsonica e supersonica - Pro-

fili in corrente transonica - Ala di apertura finita in campo comprimibile - Strato limite comprimibile - Lamina piana e soluzioni simili - Cenno all'ipotesi di Morkovin ed alle sue conseguenze - Cenno ai problemi ipersonici - Interazione strato limite-onda d'urto.

**14) Sintesi:** Effetti dello strato limite sui profili alari, stallo - Famiglie di profili e motivazione delle loro caratteristiche - Interpretazione della polare di un profilo in relazione alla teoria aerodinamica: cenno allo sviluppo storico dei profili alari. Determinazione sperimentale della caratteristiche di profili alari - Piante alari ed effetto della geometria sulle caratteristiche globali dell'ala.

#### *Testi consigliati*

Dispense reperibili presso la Biblioteca del Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale.

B. Finzi: *Lezioni di Aerodinamica*, Tamburini, Milano.

Houghton-Carruthers: *Aerodynamics for Engineering Students*, Arnold, 1982.

Rouse: *Elementary Mechanics of Fluids*, Wiley 1946.

Lighthill: *An Informal Introduction to Theoretical fluid Mechanics*, Clarendon, 1989.

Quori: *Aerodinamica*, Levrotto & Bella, 1994

## **AERODINAMICA DEGLI AEROMOBILI**

**AL0104**

**Prof. Sergio DE PONTE**

#### *Programma d'esame*

#### **Richiami di Aerodinamica.**

Proprietà fisiche dello stato gassoso. I modelli matematici del moto gassoso. La dinamica dei gas. Le proprietà dei moti vorticosi. I getti e le scie turbolente. La teoria generale dello strato limite in equilibrio. Le proprietà dello strato limite non in equilibrio. Moti vorticosi tridimensionali in prossimità di una parete. Effetti della comprimibilità nei moti vorticosi. La teoria e le proprietà dei moti irrotazionali. Le onde d'urto. Le interazioni fra strato limite e corrente esterna.

#### **La progettazione aerodinamica.**

Scelta dei parametri geometrici della pianta alare in relazione alle condizioni di impiego. Determinazione delle specifiche dei profili. Progetto aerodinamico di organi di governo. Progetto aerodinamico di componenti non portanti. Criteri di economia e scelta dei metodi di progetto. Impostazione del progetto aerodinamico del velivolo da trasporto. Effetti dell'aerodinamica sul "valore" di un velivolo da combattimento

#### **Teoria alare.**

Richiami di teoria delle ali di grande allungamento. I profili in campo incomprimibile: famiglie di profili e criteri di progetto. Ipersostentatori e superfici di governo: tipi e criteri di progetto per l'ipersostentazione meccanica. Il controllo dello strato limite e la supercircolazione. Altri sistemi di ipersostentazione potenziata. I profili in campo supersonico: fenomenologia e teoria linearizzata. La teoria dei profili in campo transonico e lo stallo d'urto. Punti coniugati. Criteri e metodologie di progetto di profili per il volo transonico. Ali di apertura finita: effetti di estremità. Effetti di freccia sul bordo di attacco; ali a forte freccia ed a delta. L'ala a freccia in campo supersonico e transonico: metodi di correlazione. Effetti di interferenza con l'ala. Dinamica dello stallo e fenomeni correlati. Effetti aeroelastici.

#### **Le prove aerodinamiche.**

Criteri di economia. Misure di grandezze aerodinamiche fondamentali: velocità e densità. Misure di forze: bilance e misure indirette. Misure di pressioni: strumenti e trasduttori. Misure di sforzi tangenziali. Misure di temperature e flussi di calore. Uso delle tecniche di visualizzazione. Metodi

ottici e velocimetria ottica : interpretazione delle fotografie; cenni di tecnica fotografica. Sistemi di acquisizione di dati e catene di misura: gestione delle prove. Cause d'errore. Disturbi di natura elettrica. Componenti elettronici essenziali delle catene di misura e loro proprietà. Conversione digitale/analogica e viceversa. Caratteristiche dei convertitori. Tipi di impianti aerodinamici e caratteristiche. Progettazione di impianti sperimentali. Effetti di interferenza, di strato limite e di separazione. Le prove bidimensionali. Camere di prova a pareti autocorrettrici. Gallerie criogeniche. Prove su modelli e semimodelli di velivoli. Tecnologia dei modelli. Simulazione della propulsione. Prove non aeronautiche. Criteri generali di impostazione della prova e scelta dell'impianto e della strumentazione

### **Il calcolo aerodinamico.**

Concetti generali e criteri d'impostazione dei metodi di calcolo: scelta dei modelli matematici e delle variabili. Il potenziale piano e la sua rappresentazione. Singolarità e condizioni al contorno. Le trasformazioni conformi. Calcolo diretto ed inverso di profili. Il potenziale tridimensionale: corpi non portanti ed ali. I metodi semplificati del potenziale: teoria dei corpi sottili. Potenziali non armonici: metodi differenziali ed integrali, tecniche iterative e convergenza. Cenni alle principali metodologie: metodi alle differenze finite, agli elementi finiti ed a volume finito. Loro impiego in relazione al problema da risolvere. I metodi inversi in campo comprimibile. Il metodo delle caratteristiche nel piano. Il calcolo dei moti dissipativi: metodi differenziali ed integrali. Proprietà globali e locali della turbolenza e modelli di turbolenza. Applicazioni al calcolo di strati limite e di scie. Cenni alla soluzione numerica delle equazioni di Stokes-Navier.

### **L'elica ed i rotori.**

La teoria dell'elica in corrente assiale e non assiale: forze e momenti aerodinamici; induzione ed interferenza. Stallo e suoi effetti. Interferenza fra le pale. Il progetto dell'elica libera ed intubata. Le condizioni di progetto del rotore. Progetto di rotori e di profili per ali rotanti.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nella applicazione delle teorie trattate al progetto di macchine volanti, nella preparazione ed esecuzione di esperimenti e nella programmazione di alcuni metodi di calcolo.

### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta, a scelta del candidato, o sulla parte sperimentale delle esercitazioni o su quella di programmazione, o su un argomento di carattere generale, nonché di una prova orale su tutto il programma del corso.

### *Libri consigliati*

Houghton-Brock: *Aerodynamics for Engineering Students*, Arnold  
Houghton-Boswell: *Further Aerodynamics for Engineering Students*, Arnold  
Bradshaw: *An Introduction to Turbulence and its Measurement*, Pergamon Press  
Torenbeck: *Synthesis of Subsonic airplane design*, Delfi: University  
Landau-Lifchitz: *Gidrodinamika*, Mir  
Kuechemann: *The Aerodynamic Design of Aircraft*, Pergamon Press  
Bertin-Smith: *Aerodynamics for Engineers*, Prentice Hall  
Breyer-Pankhurst: *Pressure-probe Methods for Determining Wind Speed and Flow Direction*, HMS Stationery Office, London, 1971.  
Merzkirch: *Flow visualization*, Academic Press, 1974.  
Goldstein: *Fluid Mechanics Measurements*, Hemisphere, 1983  
Dispense ed appunti forniti durante le lezioni

**AEROELASTICITÀ APPLICATA**  
**Prof. Paolo MANTEGAZZA****AL0105***Programma d'esame*

**1) Definizioni e concetti fondamentali:** Cenni storici. Definizione di sistema aeroelastico e relativi problemi di risposta e stabilità statica e dinamica. Definizione e giustificazione del concetto di sezione tipica equivalente e relative equazioni di movimento. Forze aerodinamiche instazionarie: inquadramento funzionale e loro approssimazione stazionaria. Esempificazione di tipici problemi aeroelastici sulla sezione tipica: risposta statica e dinamica, efficienza dei comandi, divergenza, flutter, risposta a forzanti assegnate e a raffica discreta. Prime considerazioni aeroelastiche nel progetto strutturale: posizione asse elastico e distribuzione masse, bilanciamento superfici mobili, effetto freccia alare. Fondamenti di aeroelasticità delle strutture rotanti e whirl flutter. Problemi aeroelastici in campi non aeronautici.

**2) Metodi di soluzione dei problemi aeroelastici:** Modellazione dei sistemi aeroelastici con metodi differenziali, integrali e variazionali. Metodi di soluzione approssimata: pesatura residui, collocazione puntuale, in media, minimi quadrati discreti e continui. Utilizzo diretto di formulazioni variazionali. Metodi in flessibilità e agli spostamenti ed esempi di applicazione a problemi aeroelastici con approssimazione aerodinamica stazionaria, utilizzando modelli aerodinamici a strisce finite e a linea portante.

**3) Aerodinamica instazionaria:** Caratterizzazione operativa delle forze aerodinamiche instazionarie. Metodi di calcolo delle forze instazionarie armoniche, dipendenti dal movimento e da raffiche, in flusso potenziale linearizzato. Condizioni al contorno e loro linearizzazione. Equazioni integrali del potenziale stazionario e instazionario per configurazioni complete e complesse, sub-supersoniche (metodo di Morino). Equazioni della superficie portante. Profili e metodo delle strisce finite. 'Piston theory'.

**4) Equazioni di movimento del velivolo deformabile:** Descrizione del movimento. Sistema di riferimento attaccato/medio e deformazione elastica. Requisiti per una efficiente caratterizzazione della deformazione elastica e del movimento delle superfici di comando nei problemi statici e dinamici. Equazioni di movimento del velivolo elastico completo e loro linearizzazione attorno ad un moto stazionario di riferimento. Caratterizzazione dello smorzamento strutturale. Utilizzazione di modi propri e deformate statiche nella definizione delle equazioni di movimento del velivolo. Problemi di risposta e stabilità di un velivolo flessibile, calcolo carichi e sollecitazioni dinamiche. Modi di accelerazione. L'aeroelasticità statica come residualizzazione della dinamica strutturale. Modellazione di servosistemi nella dinamica del velivolo. Cenno ad alcuni problemi fondamentali di aeroservoelasticità e controllo attivo e loro esemplificazione su sezione tipica: controllo delle vibrazioni, alleviazione carichi di manovra e raffica, miglioramento condizioni di flutter. Implicazioni nella filosofia di progetto. Flutter dei pannelli.

**5) Risoluzione delle equazioni aeroelastiche:** Formulazione classica dello studio della risposta temporale a raffiche e forzanti assegnate mediante risposta in frequenza e trasformata inversa di Fourier. Metodi per la determinazione della condizione di flutter. Formulazione moderna tramite identificazione delle forze aerodinamiche come risposte di un sistema dinamico lineare tempo invariante e rappresentazione agli stati delle equazioni aeroelastiche. Relativi metodi di soluzione per problemi di risposta e stabilità. Caratterizzazione delle raffiche come processo casuale ergodico e studio della risposta aeroelastica relativa con metodi in frequenza e nel tempo sia per la formulazione classica che per la moderna; determinazione degli indici equivalenti di progetto e verifica. Calcolo delle sensitività ed analisi parametriche; fondamenti di sintesi aeroelastica.

**6) Sperimentazione aeroelastica:** Modelli in similitudine elastodinamica ed aeroelastica. Determinazione delle caratteristiche strutturali statiche e dinamiche su modelli e strutture. Determina-

zione dello smorzamento del sistema aeroelastico in volo o in galleria a vento; metodi di eccitazione, misura ed elaborazione dati relativi alle prove di flutter.

7) Problemi non lineari: Non linearità tipiche. Metodi per la trattazione di non linearità concentrate. Cenni relativi ai problemi di buffeting, buzz, flutter in campo transonico e con stallo.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consisteranno in ripasso ed applicazioni numeriche di argomenti propedeutici ai vari punti del corso, in applicazioni numeriche e sviluppo di complementi su argomenti svolti durante il corso. Gli studenti che lo desiderassero potranno eseguire un elaborato d'esame, consistente nello sviluppo di un argomento monografico o in una applicazione numerica importante su argomenti attinenti il corso. Tali lavori costituiranno elementi di giudizio per l'esame e sono sostitutivi della prova scritta.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta ed in una orale. La prova scritta ha come scopo l'auto valutazione della preparazione da parte del candidato e ne preclude l'ammissione all'orale in presenza di gravi carenze di preparazione; contribuisce comunque alla determinazione del voto d'esame.

#### *Libri consigliati*

Dowell: *A modern course in aeroelasticity*, Kluwer.

Bisplinghoff, Halfmann, Ashley: *Aeroelasticity*, Me Graw-Hill.

Bisplinghoff, Ashley: *Principle of aeroelasticity*, Dover.

Fung: *Theory of aeroelasticity*, Dover.

Scanlan, Rosenbaum: *Introduction to the study of aircraft vibration and flutter*, Dover.

Foersching: *Grundlagen der Aeroelastik*, Springer Verlag.

Agard: *Aeroelastic manual*.

Su particolari argomenti non riscontrabili sui testi menzionati saranno forniti appunti durante le lezioni.

## AFFIDABILITÀ E SICUREZZA DELLE COSTRUZIONI MECCANICHE

AR0143

Prof. Giorgio PAOLINI

#### *Programma d'esame*

### 1 - CENNI SU PROBLEMI PROPEDEUTICI.

1.1 - Richiami di statistica descrittiva - valutazione approssimata, a diverso grado, del valore atteso e della varianza di funzioni di variabili aleatorie; parametri descrittivi e tecniche di analisi campionaria.

1.2 - Modellistica descrittiva: i parametri di calcolo strutturale come variabili aleatorie; modelli di rappresentazione matematica (normale, lognormale, Weibull, Poisson, ecc.).

1.3 - Metodi di regressione e rappresentazione di dati sperimentali.

### 2 - CONCETTI GENERALI.

2.1 - Affidabilità funzionale e strutturale; fungibilità; sicurezza.

2.2 - Il manufatto come oggetto della analisi affidabilistica; sua descrizione, analisi previsionale delle sue condizioni di impiego; situazioni di esercizio e "fuori servizio"; la sicurezza come esigenza prioritaria di progetto.

- 2.3 - "Vicissitudini" del manufatto in termini previsionali e/o storici; cicli di eventi e loro ripetibilità; gerarchizzazione temporale; mix di produzione, paradigma delle situazioni operative e deduzione delle leggi costitutive; identificazione delle situazioni operative, definizione di spettro e suo impiego per la impostazione della "vita progettuale" del manufatto.
- 2.4 - Le caratteristiche dei materiali in relazione ai problemi di comportamento in servizio e di persistenza della funzionalità e fungibilità. Guasti: Classificazione e fenomenologie di base, modellazione matematica; descrizione dei guasti meccanici (cedimenti) più frequenti ed importanti; parametri sperimentali che li caratterizzano e loro definizione in termini probabilistici.
- 2.5 - Analisi comportamentale: principi generali, interrelazione tra spettri di situazioni operative e cedimenti; algoritmi deterministici.
- 2.6 - Il metodo MONTECARLO come strumento della determinazione della affidabilità strutturale; procedimenti abbreviati; casi particolari.
- 3 - PROBLEMI APPLICATIVI.**
- 3.1 - Accelerazione prove
- 3.2 - Analisi sforzo resistenza ed efficacia delle prove di accettazione dei componenti (*burn-in*).
- 3.3 - L'impiego dell'analisi comportamentale nella prognostica degli organi delle macchine e dei componenti meccanici: manutenzione e sua programmazione; descrizione delle caratteristiche prestazionali dei materiali e dei manufatti; valutazione dei rischi e sua incidenza nei costi di produzione ed esercizio.
- 3.4 - La sicurezza nella normativa tecnica e nella legislazione: impostazione del problema a livello nazionale ed internazionale, riflessi di carattere tecnico e giuridico. Provvedimenti progettuali ed operativi per garantire la sicurezza.
- 3.5 - Criteri di progettazione meccanica legati alle esigenze di sicurezza: scelta del grado di sicurezza in funzione dei parametri aleatori del problema e delle caratteristiche comportamentali dei materiali; criteri "safe-life", "fail-safe".
- 3.7 - Esempi di calcolo affidabilistico: gru, pala caricatrice, ruote dentate, molle, ecc.
- 3.8 - Statistica eventi estremi: applicazioni e riferimenti alle normative.

#### *Libri consigliati*

- SS.RAO - *Reliability based design*, Mac Graw Hill, 1992
- J.N. Siddall: *Probabilistic Engineering Design*, M. Dekker, 1984
- T.T. Furmann: *Approximate Methods in Engineering Design*, A.P., 1981
- D. Kececoglu: *Reliability Engineering Handbook*, Prentice Hall, 1991
- S. Beretta: *Appunti ed Esercizi di Affidabilità e Sicurezza delle Costruzioni Meccaniche CUSL*, 1995.

## **ALGEBRA**

**AP0023**

**Prof.ssa Ada VARISCO**

#### *Programma d'esame*

**Teoria degli insiemi.** Generalità sugli insiemi. Relazioni. Rappresentazione grafica di una relazione. Operazioni tra relazioni. Relazioni di equivalenza. Applicazioni. Cardinalità di un insieme. Relazioni d'ordine. Insiemi ben ordinati. Induzione transfinita. Assioma del buon ordinamento. Assioma della scelta. Relazioni negli insiemi finiti. Grafi e matrici di incidenza. Applicazioni di insiemi finiti.

**Strutture algebriche.** Operazioni in un insieme. Gruppoidi. Relazioni compatibili e congruenze. Strutture quozienti. Omomorfismi. Prodotti diretti.

**Semigrupperi.** Sottosemigrupperi e ideali. Semigrupperi ciclici. Semigrupperi a generazione finita. Bande rettangolari. Semireticolari. Semigrupperi di trasformazioni. Congruenze, omomorfismi e semigrupperi quozienti. Rappresentazioni di un semigruppero. Semigrupperi liberi e relazioni generatrici. Il semigruppero biciclico.

**Gruppi.** Gruppi ciclici. Gruppi di sostituzioni. Equivalenze in un gruppo. Laterali di un sottogruppo. Sottogruppi normali. Congruenze. Omomorfismi. Automorfismi. Prodotti diretti. Periodo di un elemento. Gruppi aperiodici e gruppi di torsione. Gruppi finiti. Gruppi abeliani.

**Anelli.** Sottoanelli e ideali. Congruenze e omomorfismi negli anelli. L'anello degli interi modulo  $m$ . Teoremi classici sugli interi. Ideali massimali e ideali primi. Somme dirette di anelli e di ideali. Domini di integrità. Caratteristica. Anelli di Boole. Endomorfismi e automorfismi. Domini Euclidei.

**Corpi e campi.** Esempi di campi. Il corpo dei quaternioni reali. Condizioni affinché un anello sia un corpo. Caratteristica di un corpo. Campi primi. Omomorfismi nei corpi. Anello dei quozienti. Immersione in un campo. Anelli di polinomi. Estensioni di un campo. Campi finiti. Teoria di Galois.

**Reticoli.** Sottoreticoli e ideali. I reticoli come insieme ordinati. Reticoli completi. Reticoli distributivi, modulari, complementati. Reticoli di sottogruppi e di sottoanelli. Reticoli di Boole. Dualità nei reticoli.

**Spazi vettoriali.** Spazio vettoriale su un corpo. Sottospazi. Dipendenza lineare. Dimensione e basi. Spazio delle  $n$ -uple.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sugli argomenti in programma.

#### *Libri consigliati*

Dispense del corso

#### *Testi di consultazione*

Bhattacharya, P.B., Jain, S.K., Nagpaul, S.R.: *Basic Abstract Algebra*, Cambridge Un. Press.

Burton, D.M.: *A first course in rings and ideals*, Addison-Wesley Pub.Co.

Dummit, D.S., Foote, R.M.: *Abstract Algebra*, Prentice Hall.

Fraleigh J.B.: *A First Course in Abstract Algebra*, Addison-Wesley Pub.Co.

Halmos, P.R.: *Naive set theory*, Springer-Verlag.

Herstein, I.N.: *Topics in Algebra*, J.Wiley & Sons.

Herstein, I.N.: *Algebra*, Editori riuniti.

Mac Coy, N.H.: *The theory of rings*, Chelsea Pub.Co.

Mac Coy, N.H.: *Rings and ideals*, Math, Ass. of Am.

Marchionna, E., Tibiletti, C.: *Appunti di Algebra*, Ed.Masson.

Moore, J.T.: *Elements of Abstract Algebra*, MacMillan Co.

Preparata, F., Yeh, R.T.: *Introduzione alle strutture discrete*, Boringhieri.

Rodriquez, G.: *Algebra*, CLUP.

Stoll, R.R.: *Set Theory and Logic*, Freeman and Co.

Zehna, P.W. Johnson, R.L.: *Elements of set theory*, Allin and Bacon.

**ALGEBRA (1/2 annualità, 1)**

**AP0104**

**Prof.ssa Alessandra CHERUBINI SPOLETINI**

*Programma d'esame*

Elementi di teoria degli insiemi. Relazioni: relazioni di ordine e di equivalenza, insiemi quozienti. Applicazioni: teoremi di fattorizzazione. Algebra di Boole. Funzioni booleane e loro forma normale. Calcolo proposizionale. Quantificatori. Teorie del primo ordine: teoremi di completezza. Esempi di teorie del primo ordine: insiemi ordinati, gruppi, ecc.. Principali strutture algebriche con una e due operazioni binarie: semigrupp, monoidi, gruppi, anelli, campi, reticoli. Prime proprietà di tali strutture, sottostrutture, relazioni di congruenza e strutture quozienti, prodotti diretti. Cenni su questioni di decidibilità: teoremi di Gödel.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in un colloquio orale, eventualmente preceduto dalla soluzione di semplici esercizi.

*Libri consigliati*

Mendelson: Introduzione alla logica matematica, Boringhieri.  
e dispense del docente

*Libri di consultazione*

Birkhoff e Mac Lane: *Algebra*, Mursia.  
Di Martino, Tamburini: *Appunti di Algebra*, CLUED  
Marchionna e Marchionna Tibiletti: *Lezioni di algebra*, La Viscontea.  
Rodriquez: *Algebra per ingegneria e informatica*, CLUP, oppure

**ALGEBRA (1/2 annualità, 2)**

**APOI 14**

**Prof.ssa Alessandra CHERUBINI SPOLETINI**

*Programma d'esame*

**Categorie:** Il concetto di categorie. Prodotti e coprodotti. Funtori e trasformazioni naturali Funtori aggiunti.

**Logica modale:** Semantica e sintassi. Sistemi normali. Modelli canonici e completezza. Filtrazioni e decidibilità. Sistema di logica multimodale.

**Logica temporale:** Frames lineari. Logica temporale della concorrenza. Cenni di logica dinamica.

**Logica fuzzy:** Insiemi fuzzy, espressioni fuzzy, logiche multivalenti e fuzzy.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale e/o nella discussione di un elaborato.

*Precedenze d'esame*

Algebra (1/2 annualità A) o Algebra (annualità intera).

I corsi di Algebra 1 e Algebra 2 saranno organizzati in modo da rendere possibile anche una frequenza parallela, e pertanto i relativi esami possono essere sostenuti nella stessa sessione.

*Libri consigliati*

Dispense del corso

Possono essere di utile consultazione i testi:

Chellas: *Modal logic, an introduction*, Cambridge University Press.

Goldblatt: *Logics of time and computation*, CSLI

Kroeger: *Temporal Logic of Programs*, Springer Verlag.

Lawvere and Schanuel: *Teoria delle categorie: un'introduzione alla matematica*, Muzzio.

## ALGORITMI E CIRCUITI PER LE TELECOMUNICAZIONI

AG0244

Prof. Sergio BROFFERIO

### *Programma d'esame*

#### **1) Circuiti analogici per le telecomunicazioni.**

Amplificatori a basso rumore. Moltiplicatori analogici. Oscillatori controllati in tensione. Circuiti ad aggancio di fase (PLL)

#### **2) Circuiti per la trasmissione su fibre ottiche.**

Modelli del mezzo e dei trasduttori. Trasmettitori e ricevitori per segnali binari.

#### **3) Circuiti digitali per le telecomunicazioni.**

Unità funzionali elementari in tecnologia CMOS dinamica. Condizione di metastabilità dei circuiti bistabili. Condizioni di stabilità per macchine sequenziali sincrone. Tecniche di sincronizzazione delle interconnessioni. Unità funzionali: PLA, ROM, RAM, Memorie Video, FIFO, ALU. Moltiplicatori numerici (seriali, paralleli). Filtri numerici ad aritmetica distribuita.

#### **4) Processori ed architetture per la elaborazione numerica dei segnali.**

Rappresentazione degli algoritmi, grafi di dipendenza dei dati e di Petri. Strutture pipeline e sistoliche: applicazioni. Strutture e prestazioni dei processori per l'elaborazione numerica dei segnali: a controllo di programma o di dati. Applicazioni all'elaborazione audio e delle immagini, filtri FIR, IIR, correlatori e cancellatori d'eco. Convertitori analogico-digitali e digitale-analogici per segnali audio e video, convertitori Sigma-Delta. Errori di quantizzazione.

#### **5) Circuiti per la modulazione numerica.**

Trasmissione di segnali numerici in banda base: circuiti per la sintesi di impulsi. Ricostruzione della portante e del sincronismo di simbolo. Tecniche e strutture circuitali per la modulazione numerica (ASK, FSK, PSK, DPSK, QAM).

#### **6) Algoritmi avanzati per telecomunicazioni ed applicazioni.**

Reti neuronali artificiali: principali strutture ed applicazioni al riconoscimento di segnali. Logica sfumata (fuzzy): principi e struttura dell'elaboratore a logica sfumata: applicazioni al controllo dell'elaborazione dei segnali.

### *Esercitazioni*

Vi saranno esercitazioni settimanali numeriche o con simulazioni.

### *Modalità d'esame*

L'esame è costituito da una prova scritta e una orale, sostituibile eventualmente da un elaborato, previo accordo con il docente.

### *Libri consigliati*

Dispense del corso: 1) *Algoritmi e circuiti per telecomunicazioni*; 2) *Appunti dal corso di radiotecnica*; 3) *circuiti per la trasmissione numerica*; 4) *L'anello ad aggancio di fase* (CLUP Politecnico di Milano)  
P.H. Young: *Electronic Communication Techniques*, 3rd Ed. Merrill Pubi. Co., 1994.

*Testi di consultazione:*

D. Del Corso: *Elettronica per Telecomunicazioni*, Ed. Libreria Editrice Universitaria Levrotto e Bella (Torino), 1987

F. Gardner: *Phase-lock Techniques*, 2nd Ed. John Wiley & Sons, 1979.

*Note agli studenti:*

Si consigliano le precedenti di Elettronica applicata II, di Comunicazioni Elettriche ed Elaborazione numerica dei segnali.

**ANALISI DEI SISTEMI (A)****AG0074****Prof. Giorgio GUARISO***Programma d'esame***1 - Introduzione.**

Generalità sulla modellistica: evoluzione storica del concetto di modello, modelli fisici e modelli matematici, caratteristiche dei modelli. Come si costruisce un modello: il ruolo delle leggi fisiche elementari e il ruolo dei dati, modelli a scatola nera e modelli empirici. Modelli descrittivi: modelli di simulazioni e modelli di previsione. Modelli decisionali: modelli di pianificazione e modelli di gestione. Esempi di casi.

**2 - Elementi di teoria dei sistemi e di analisi dei dati.**

Definizione generale di sistema dinamico. Sistemi continui e discreti, stazionarietà, linearità. Cenni ai sistemi stocastici e alle catene di Markov. Sensitività parametrica, movimento libero e movimento forzato. Equilibrio e stabilità: definizione e significato pratico. Stabilità dei sistemi lineari: criterio degli autovalori (poli). Linearizzazione. Molteplicità degli equilibri e loro classificazione nei sistemi del secondo ordine. Sistemi del secondo ordine: cicli e tracciamento del quadro delle traiettorie. Cenni alla teoria delle catastrofi. Raggiungibilità: definizione, test di Kalman e controllori stabilizzanti. Osservabilità: definizione, test di Kalman e stima asintotica dello stato. Regolatori stabilizzanti: proprietà di separazione e fissabilità dei poli, esempi di applicazione. Scomposizione dei sistemi lineari e relazioni ingresso-uscita. Risposta all'impulso. Funzione di trasferimento: definizione e calcolo. Schemi a blocchi. Calcolo esatto e approssimato dei transistori. Risposta in frequenza: definizione, significato pratico, proprietà filtranti dei sistemi dinamici, banda passante e risonanza. Diagrammi e criterio di Nyquist. Diagrammi di Bode e risposta in frequenza dei sistemi in anello chiuso. Modelli autoregressivi e a media mobile (ARMA). Esempi riassuntivi. Generalità sui dati: campionamento, quantizzazione. Analisi di dati non ordinati. Trattamento dei segnali: filtraggio numerico e interpolazione. Trattamento delle immagini e filtri spaziali.

**3 - Simulazione.**

Tecniche di simulazione e mezzi di calcolo. Discretizzazione dei sistemi continui. Approccio deterministico alla taratura dei modelli: stima ai minimi quadrati, stima off-line e on-line. Esempio di taratura di un modello di simulazione. Linguaggi di simulazione.

**4 - Previsione.**

Finalità delle previsioni e tecniche deterministiche. Previsori stocastici (modelli ARMAX e previsore di Kalman). Taratura off-line dei previsori. Taratura on-line dei previsori. Esempio di caso.

**5-1 metodi della ricerca operativa.**

Classificazione dei problemi di programmazione matematica. Programmazione lineare. Ottimizzazione non vincolata monodimensionale (sezione aurea, interpolazione parabolica, Fibonacci, bisezione). Ottimizzazione non vincolata n- dimensionale (direzioni principali, Powell, gradiente,

Newton). Ottimizzazione vincolata (Lagrangiana, metodi di penalità e barriera). Programmazione dinamica. Ottimizzazione combinatoria (cammino minimo, PERT, albero minimo, ciclo ottimo, massimo flusso, trasporto, tecniche euristiche).

#### **6 - Pianificazione.**

Cosa significa pianificare - Massimizzazione del profitto (produttori e utilizzatori, costi e benefici marginali, domanda e offerta, prezzi, quote e prezzi ombra). Analisi costi-benefici: il caso di un produttore e di un utilizzatore (equilibrio, efficienza, redistribuzione del reddito). Analisi costi-benefici: il caso di molti produttori e utilizzatori (coordinamento domanda-offerta e analisi decentralizzata). Analisi a molti obiettivi (conflittualità, soluzioni efficienti, metodo dei pesi e metodo dei vincoli, criteri di scelta del miglior compromesso). Esempio di caso. Pianificazione in condizioni di incertezza (criterio del min-max e cenni alla teoria delle decisioni). Problemi a molti decisori (equilibrio di Nash, competitività e inefficienza).

#### **7 - Gestione.**

I problemi di gestione e i sistemi di supporto alle decisioni (schemi in anello aperto, anello chiuso, compensazione). Controllo ottimo e principio del massimo. Controllo ottimo e programmazione dinamica. Esempio di caso. Sistemi di supporto alle decisioni.

#### *Esercitazioni*

Il programma comprenderà:

- 1) esercitazioni numeriche riguardanti in particolare gli elementi di dinamica dei sistemi e di ricerca operativa presentati nel secondo e nel quinto capitolo.
- 2) esercitazioni al terminale sulle tecniche di simulazione presentate nel terzo capitolo (se possibile queste esercitazioni si svolgeranno presso il Centro di Calcolo).
- 3) studi di casi riguardanti la taratura e la simulazione di modelli complessi e l'uso dei modelli in problemi di previsione, pianificazione e gestione.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste di una prova scritta e di un colloquio. Per chi frequenta è possibile sostenere l'esame attraverso una serie di prove scritte svolte durante l'anno.

#### *Libri consigliati*

Sono disponibili presso la CittàStudi *le Note del corso* (in 2 volumi). Tali note corrispondono a quanto viene proiettato a lezione (tutto il corso è svolto con lavagna luminosa) e pertanto costituiscono solo un supporto per la preparazione dell'esame. Sempre presso la CittàStudi è in distribuzione anche un eserciziaro.

### **ANALISI DEI SISTEMI (B)**

**AG0113****Prof. Luca L. GHEZZI**

#### *Programma d'esame*

**1. Sistemi lineari.** Elementi di teoria dei sistemi lineari: stabilità, raggiungibilità e legge di controllo, osservabilità e ricostruzione dello stato, relazioni ingresso-uscita e modelli ARMA. Programmi per l'analisi dei sistemi lineari su P.C.. I sistemi positivi: definizioni ed esempi, stabilità ed autovalore di Frobenius, regolarità, irriducibilità, eccitabilità. Modelli di produzione. Modelli demografici. Sistemi di stoccaggio. Catene di Markov.

**2. Sistemi non lineari.** Equilibri multipli e loro stabilità. Metodo di Liapunov. Sistemi del secondo ordine: equilibri, cicli e teoria di Bendixon-Poincarè. Stabilità strutturale, biforcazioni e catastrofi nei sistemi a tempo continuo e discreto. Metodo delle perturbazioni singolari per l'analisi di sistemi a dinamica differenziata. Funzionamento caotico dei sistemi non lineari. Tecniche e programmi di simulazione su P.C.

**3. Sistemi dinamici e tecniche di previsione.** Il problema della previsione in tempo reale. Classificazione dei predatori. Analisi di serie storiche e taratura dei predatori. Tecniche di previsione adattativa.

**4. Sistemi dinamici e ottimizzazione.** Il problema dell'ottimizzazione dei sistemi dinamici. Ottimizzazione a breve e lungo termine. Analisi costi-benefici e analisi a molti obiettivi. Programmazione in condizioni di incertezza e albero delle decisioni. Principio del massimo. Controllo ottimo delle risorse rinnovabili e non rinnovabili.

**5. Sistemi di supporto alle decisioni (SSD).** Il problema del supporto alle decisioni. Struttura degli SSD. Uso delle tecniche di simulazione, previsione e ottimizzazione nello sviluppo degli SSD.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni degli allievi gestionali e dell'Università Bocconi saranno svolte separatamente da quelle degli allievi civili secondo i seguenti programmi.

**Allievi gestionali e dell'Università Bocconi** *Capitolo 1:* Duopolio. Modelli macroeconomici. Modello di Leontieff. Affidabilità e catene di Markov. Strutture gerarchiche e principio di Peter. Dinamica di gruppo. *Capitolo 2:* Stabilità dell'equilibrio economico generale. Cicli nella competizione tra tecnologie e nel mercato del petrolio. Caos nei mercati concorrenziali e nei mercati finanziari. *Capitolo 3:* Previsione nei mercati mobiliari. *Capitolo 4:* Gestione della produzione. Commercializzazione di prodotti innovativi. Gestione delle risorse finanziarie personali. *Capitolo 5:* Produzione agricola e protezione ambientale. Un sistema per la pianificazione finanziaria.

**Allievi civili** *Capitolo 1:* Dinamica di sistemi di trasporto. Modelli di inquinamento. Analisi e controllo degli acquiferi. Controllo attivo di una struttura. *Capitolo 2:* Biforcazioni e catastrofi nelle strutture caricate di punta. Dinamica e controllo delle epidemie. Caos deterministico e turbolenza. Ciclicità delle fioriture algali. *Capitolo 3:* Previsioni demografiche. Previsioni meteorologiche. Previsione dell'inquinamento atmosferico in aree urbane. *Capitolo 4:* Dimensionamento di una condotta come problema di controllo ottimo. Programmazione degli interventi di risanamento. *Capitolo 5:* Un sistema di trasporto pubblico a chiamata. La gestione delle acque sotterranee.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta, con eventuale discussione dell'elaborato, od orale, a scelta del candidato. Durante lo svolgimento del corso verranno tenute alcune prove scritte facoltative, di tipo graduale e riguardanti l'intero programma svolto in precedenza. Tali prove, qualora superate positivamente, sono da considerarsi equivalenti alla prova scritta di cui sopra.

#### *Precedenze di esame*

Per gli **allievi gestionali:** Analisi matematica II, Economia e organizzazione aziendale. Per gli **allievi civili:** Analisi matematica II, Scienza delle costruzioni.

#### *Materiale didattico*

Durante lo svolgimento del corso saranno rese disponibili le note che il docente usa come traccia per le sue lezioni. Tali note potranno essere integrate con opportune letture suggerite dal docente. Verranno pure messi a disposizione degli allievi programmi per la soluzione su P.C. di problemi a carattere professionale.

**ANALISI DEI SISTEMI DELL'INGEGNERIA CHIMICA**  
**Prof. Guido BUZZI FERRARIS****AF0107***Programma d'esame***A. Elaborazione dei dati esenti da errore sperimentale.**

Interpolazione polinomiale e con funzioni razionali. Approssimazione di funzioni complesse. Uso dei polinomi continui per costruire diagrammi e in problemi di grafica.

**B. Elaborazione di dati con errore sperimentale.**

Introduzione al significato e all'uso di modelli matematici. Modelli lineari. Limiti di fiducia. Test di significanza. Costruzione automatica di modelli lineari. Modelli non lineari. Modelli multirisposta. Applicazioni a cinetiche chimiche con una o più reazioni simultanee. Programmazione sequenziale di prove per migliorare la stima dei parametri di un modello. Programmazione sequenziale di prove per discriminare fra modelli.

**C. Bilanci materiali ed energetici in condizioni stazionarie.**

Come scrivere un bilancio.

- Sistemi algebrici tipici dell'ingegneria chimica. Ricerca dello zero di una funzione in una sola variabile. Calcolo del punto di bolla e di rugiada. Caso multidimensionale. Soluzione di sistemi lineari. Sistemi sparsi con strutture caratteristiche: sistemi tridiagonali, a banda, a blocchi. Soluzione di sistemi algebrici non lineari. Applicazione al calcolo di flash, a colonne di distillazione e a bilanci di impianti in condizioni stazionarie.
- Sistemi differenziali tipici dell'ingegneria chimica. Equazioni differenziali con condizioni iniziali. Esempi di applicazioni al calcolo di reattori chimici. Equazioni differenziali con condizioni ai limiti. Reazioni con diffusione entro particelle catalitiche.

**D. Ottimizzazione di laboratorio, di processo e di conduzione.**

Caso monodimensionale. Caso multidimensionale con variabili non vincolate. Caso multidimensionale con variabili vincolate. Ottimizzazione in fase di ricerca di laboratorio. Ottimizzazione di progetto e di conduzione di un impianto industriale. Programmazione lineare. Applicazione all'ottimizzazione di un processo petrolifero. Programmazione dinamica e a blocchi. Ottimizzazione di un processo divisibile in stadi: reattori multistadio, reti di scambiatori, processo industriale complesso. Ottimizzazione di tipo variazionale. Applicazione all'ottimizzazione di progetto di un reattore a letto catalitico con decadimento del catalizzatore.

**E. Bilanci materiali ed energetici in condizioni dinamiche.**

Equazioni differenziali ordinarie stiff. Equazioni miste algebriche e differenziali. Problemi di dinamica di un processo industriale. Cenno sulle equazioni differenziali a derivate parziali. Metodi di soluzione e problemi tipici.

*Esercitazioni*

Nel corso delle esercitazioni vengono trattati argomenti complementari e svolte applicazioni numeriche con riferimento a problemi e orientamenti all'uso di calcolatori.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

*Libri consigliati*

Dispense del corso.

G. Buzzi Ferraris: *Analisi e identificazione di modelli*, CLUP.

## **ANALISI DEI SISTEMI FINANZIARI**

**000873**

**Prof. Stefano PREDA**

### *Programma d'esame*

1. La struttura dei sistemi finanziari. La posizione finanziaria dei settori finali nell'economia italiana. Saldi e ricchezza finanziari. Modalità di investimento e di finanziamento.
2. Mercati e intermediari. La gestione dei flussi di attività e passività finanziarie.
3. Le istituzioni finanziarie. Il quadro normativo del T.U.. I principi fondamentali. Le banche. Le attività e i servizi. I rischi dell'attività finanziaria.
4. La gestione della banca: prestiti, titoli, raccolta, capitale proprio, situazione economica ed equilibri gestionali, bilancio.
5. Vigilanza informativa, regolamentare, ispettiva sulle banche. Gli aspetti principali della regolamentazione prudenziale.
6. Il mercato dei cambi e gli strumenti derivati.
7. Diversificazione dell'attività e concentrazione del sistema creditizio. I rapporti tra banche e mercati mobiliari. Le privatizzazioni nel sistema bancario.
8. Le società e gli enti finanziari. Il leasing, il factoring, il credito al consumo, il merchant e l'investment banking.
9. Gli intermediari mobiliari. Le attività previste dalla Legge 1/91. I principi essenziali dei regolamenti attuativi.
10. Il mercato mobiliare. Primario e secondario. Il mercato telematico di Borsa. Organizzazione, operazioni, modalità di liquidazione e garanzie.
11. Le riforme dei mercati e dell'intermediazione mobiliare degli anni '90. La Direttiva sulle Eurosim. Conseguenze attese sul nostro sistema normativo e di mercato.
12. Gli altri mercati telematici. MTS, MIF, FIB, opzioni, depositi interbancari.
13. Gli investitori istituzionali. Forme organizzative e funzioni svolte. Il quadro normativo e la sua evoluzione.
14. I principali investitori istituzionali nella realtà italiana. Fondi mobiliari aperti e chiusi. Fondi inunobiliari. Fondi pensione. Sicav. Sim di gestione.
15. Le operazioni di project financing.

### *Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni inerenti gli argomenti trattati in sede teorica, volte a fornire agli studenti esemplificazioni concrete.

### *Seminari*

Durante il corso sarà organizzato un ciclo di seminari, con la partecipazione anche di operatori del settore, finalizzati ad un confronto di esperienze sulle problematiche di attualità.

### *Libri consigliati*

Verranno indicati dal Docente a lezione.

**ANALISI DEI SISTEMI URBANI E TERRITORIALI**  
**Prof. Giovanni RABINO**

000846

*Programma d'esame*

**1 - Fondamenti concettuali.**

Contenuto della disciplina e specificità del corso. Relazioni con altri corsi.

Il metodo scientifico nell'urbanistica. Olismo e riduzionismo. L'approccio sistemico. Teorie e modelli. Metodologie per lo sviluppo e l'applicazione dei modelli urbanistici nella pianificazione urbanistica e territoriale.

**2 - Le basi informative e le procedure informatiche.**

Caratteristiche dei sistemi informativi territoriali. Le fonti. Il rilevamento dati. Gestione ed aggiornamento delle basi di dati. Le elaborazioni automatiche. Procedure statistiche standard. Modellizzazione e simulazione.

Rappresentazione dei dati. Cenni alla cartografia automatica.

**3 - Le tecniche statistiche.**

Le statistiche standard: specificità delle applicazioni spazializzate. Serie temporali spazializzate. L'autocorrelazione spaziale. L'analisi delle componenti di scala e delle distribuzioni di punti.

**4 - Metodi di ottimizzazione e di aiuto alla decisione.**

Applicazione della R.O.: specificità dei problemi territoriali. Le tecniche di zonizzazione. Indicatori di "performance". Standard e fabbisogni. I metodi di valutazione multicriteri.

**5 - Modelli matematici.**

L'interazione spaziale. Localizzazione di attività produttive e di servizi. Localizzazione residenziale. Modelli dei trasporti. Modelli urbani. Modelli delle gerarchie territoriali. Modelli di diffusione spaziale. Modelli urbanistici di microsimulazione. Teoria del controllo dei sistemi dinamici territoriali. Sistemi territoriali autoorganizzativi.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni, come parte integrante del corso, consistono nello sviluppo e nella applicazione di alcuni dei metodi e modelli presentati nelle lezioni, a casi reali di pianificazione e gestione urbanistica e territoriale.

*Modalità d'esame*

All'esame viene presentato l'elaborato prodotto nelle esercitazioni. L'esame comprende un colloquio sul programma svolto e la discussione dell'elaborato delle esercitazioni.

*Libri consigliati*

Dispense del corso: G.A. Rabino: *Territorio ed informatica: dall'informazione alla conoscenza, alla decisione.*

Saggi sui diversi argomenti messi a disposizione dalla docenza.

Si consiglia la consultazione anche delle seguenti opere (disponibili presso la Biblioteca del Dipartimento di Ingegneria dei Sistemi Edilizi e Territoriali - Sezione di Ingegneria Urbanistica):

E. Scandurra: *Tecniche urbanistiche per la pianificazione del territorio*, CLUP, Milano, 1987.

A. A. - V.V.: *Enciclopedia di urbanistica e pianificazione territoriale: Voi. VII (Analisi/2)*, Franco Angeli, Milano, 1988.

A.A. - V.V.: *Urban systems: contemporary approaches and modelling*, Croom Helm, Londra, 1988.

A. Wilson, R. Bennet: *Mathematical methods in human geography and planning*, Wiley, Chichester, 1985.

**ANALISI DI RUMORE NEI REATTORI NUCLEARI****000880****Prof. Marzio MARSEGUERRA***Programma d'esame***Reattori a fissione.**

Il modello del trasporto per lo studio della distribuzione dei neutroni in un reattore nucleare. L'equazione di Boltzmann del trasporto neutronico. Caratteristiche generali dell'operatore del trasporto e forma della soluzione. Il metodo dell'autovalore  $\lambda$  e dell'autovalore  $\kappa$ . Soluzioni numeriche ed organizzazione dei moderni codici di calcolo. Il metodo dello sviluppo in armoniche sferiche a molti gruppi energetici.

L'equazione aggiunta del trasporto. Interpretazioni fisiche del flusso aggiunto. Funzione importanza. Metodi perturbativi. Dinamica del reattore: il modello puntiforme.

**Il metodo Monte Carlo.**

Il metodo Monte Carlo. Estrazione di casuali da distribuzioni qualsiasi. Metodi di rigetto di von Neumann. Il problema del tiro a bersaglio e la valutazione di integrali definiti. Tecniche di riduzione della varianza; estrazioni forzate. Simulazione stocastica del problema del trasporto di neutroni o di radiazione. Campionamento con la funzione importanza; suddivisione di una particella e roulette russa.

**Il rumore nei reattori a fissione.**

Proprietà statistiche del rumore nel dominio della frequenza e del tempo. Fluttuazioni neutroniche in un reattore a potenza zero. Problemi di salvaguardia. Rumore nei reattori ad acqua in pressione (PWR). Vibrazioni anomale del core barrel. Rumore nei reattori ad acqua bollente (BWR) ed effetti di controreazione. Diagnostica precoce di malfunzionamenti di strumentazione e di impianto.

**Analisi di segnale con reti neurali.**

Le reti neurali: a) multistrato unidirezionali, b) di Kohonen, c) di Boltzmann. Addestramento e utilizzazione in problemi di previsione e in diagnostica. Applicazioni ai reattori PWR e BWR e a problemi di salvaguardia.

*Esercitazioni*

Nelle esercitazioni sono descritti in dettaglio modelli fisici e programmi di calcolo per la determinazione di alcune grandezze caratteristiche di un reattore nucleare. Verrà inoltre eseguita ed analizzata una esperienza di salvaguardia in corso presso il CESNEF.

*Libri consigliati*

G. Bell, S. Glasstone: *Nuclear Reactor Theory*, Van Nostrand Reinhold Co. 1970.

M.H. Kalos, P.A. Whitlock: *Monte Carlo Methods*, Voi. I: *basics*, J. Wiley, N.Y. 1986.

J.A. Thie: *Power Reactor Noise*, American Nuclear Society, 1981.

A. Weinberg, E. Wigner: *Introduction to Nuclear Reactor Theory*, Addison-Wesley, 1966.

M.M.R. Williams: *Random Processes in Nuclear Reactors*, Pergamon Press, 1974.

J. S. Bendat, A.G. Piersol: *Random Data*, //ed. J. Wiley, N.Y. 1986.

**ANALISI MATEMATICA I****AP0001**

(per gli allievi di Ingegneria Aerospaziale, Gestionale e Meccanica)

**Proff. Elena GRASSINI, Elisabetta MALUTA, Sandro SALSA, Maurizio VERRI***Programma d'esame*

- 1. Teoria degli insiemi.** Operazioni, relazioni, funzioni. Funzione composta, funzione inversa.
- 2. Insiemi numerici.** Numeri naturali, interi, razionali, reali, complessi.
- 3. Elementi di calcolo combinatorio.** Permutazioni, disposizioni, combinazioni.
- 4. Spazi euclidei.** Strutture di spazio vettoriale, di spazio topologico e di spazio normato.
- 5. Funzioni reali di una variabile reale.**
- 5a. Limiti e continuità.** Funzioni limitate, monotone, convesse. Massimi e minimi. Successioni. Definizione di limite. Teoremi sui limiti. Funzioni continue. Teoremi fondamentali sulle funzioni continue.
- 5b. Calcolo differenziale.** Definizioni di derivata e di differenziale. Regole di derivazione e di differenziazione. Derivate e differenziali successivi. Teoremi fondamentali sulle funzioni derivabili. Formula di Taylor; applicazioni. Studio del grafico di una funzione. Funzioni primitive.
- 5c. Calcolo integrale.** Integrale esteso ad un intervallo e sue proprietà. Teorema fondamentale del calcolo integrale. Integrale indefinito. Metodi di integrazione. Integrali in senso generalizzato.
- 6. Serie numeriche.** Carattere. Criteri di convergenza.
- 7. Funzioni reali di più variabili reali (Campi scalari).**
- 7a. Limiti e continuità.** Definizione di limite. Funzioni continue. Teoremi fondamentali sulle funzioni continue.
- 7b. Calcolo differenziale.** Definizioni di derivate parziali e direzionali e di differenziale. Teoremi sulle funzioni differenziabili. Derivate e differenziali successivi. Formula di Taylor.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

*Testi consigliati:*

- L. Amerio: *Analisi Matematica con Elementi di Analisi Funzionale*, voi. I, UTET: Torino.  
 C. Citrini: *Analisi Matematica I*, Bollati Boringhieri: Torino.  
 C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica*, Voi. I, Masson, Milano.  
 F. Buzzetti, E. Grassini, A. Vasconi: *Esercizi di Analisi Matematica I*, parti I e II, Masson, Milano.  
 L.de Biase, E.Maluta, C.Zanco: *Questionario di Analisi Matematica I*, Giappichelli, Torino.

**ANALISI MATEMATICA I****AP0001**

(per gli allievi di Ingegneria Civile, Edile e per l'Ambiente e il Territorio)

**Proff. Daniela LUPO, Susanna TERRACINI, Paolo TERENCE***Programma d'esame*

- 1. Cenni di logica, di teoria degli insiemi e insiemi numerici.** Connettivi e quantificatori. Insiemi e sottoinsiemi. Operazioni, funzioni e relazioni. Insiemi finiti e infiniti. L'insieme dei numeri naturali: indizione e formula di Newton. I campi **R** e **C**.
- 2. Successioni di numeri reali.** Limiti di successioni e proprietà, successioni definite per ricorrenza. Il numero di Nepero  $e$ , alcuni limiti notevoli. Completezza: criterio di Cauchy, compattezza: Teorema di Bolzano-Weierstrass.

3. **Spazi metrici e topologia in  $R^n$ .** Nozione di distanza, classificazione topologica dei punti. Insiemi aperti e chiusi. Limiti di funzioni fra spazi metrici.
- 4a. **Funzioni di una variabile.** Funzioni composte. Funzioni monotone. Funzione inversa. Positività e simmetrie. Funzioni periodiche. Estremi di una funzione. La classe delle funzioni elementari.
- 4b. **Operazione di limite per funzioni da  $R$  in  $R$ .** Definizione di limite. Calcolo dei limiti. Teoremi sui limiti. Confronto di infiniti e infinitesimi.
- 4c. **Funzioni continue.** Definizione. Punti di discontinuità. Teoremi sulle funzioni continue. Teorema di Weierstrass. Continuità uniforme.
5. **Calcolo differenziale.** Definizione di derivata. Regole di derivazione. Massimi e minimi relativi. Teoremi fondamentali sulle funzioni derivabili. Derivate successive: formula di Taylor: e applicazioni. Funzioni concave e convesse. Studio del grafico di una funzione.
6. **Calcolo integrale per le funzioni di una variabile.** Integrale di Riemann e sue proprietà. Teorema fondamentale del calcolo integrale. Integrale indefinito. Metodi di integrazione. Integrali in senso generalizzato.
7. **Successioni e serie numeriche.** Definizione di serie convergente, divergente e indeterminata, criterio di Cauchy, serie assolutamente convergenti, test di convergenza. Criterio di Leibnitz.
8. **Curve e funzioni da  $R^n$  in  $R$ .** Nozioni di limite e continuità. Calcolo dei limiti per funzioni di due variabili.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e una orale.

*Testi consigliati*

- L. Amerio: *Analisi Matematica con Elementi di Analisi Funzionale*, Voli. I, ed. UTET, Torino.  
 C. Citrini: *Analisi Matematica 1*, Bollati Boringhieri, Torino.  
 C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica*, Voi. I, ed. Masson, Milano.  
 P. Marcellini, C. Sbordone: *Esercitazioni di Matematica*, Voi 1, parti 1 e 2, Liguori, Napoli.  
 F. Demidovic: *Esercizi e Problemi di Analisi Matematica*, Editori Riuniti.  
 F. Buzzetti, E. Grassini, A. Vasconi: *Esercizi di Analisi Matematica 2*, Masson, Milano.

**ANALISI MATEMATICA I****AP0001**

(per gli allievi di Ingegneria Biomedica, Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni)

**Proff. Valeria BACCHELLI, Antonella MARTINOLLI FURIOLI, Rodolfo SALVI, Amina VASCONI AJROLDI***Programma d'esame*

1. **Teoria degli insiemi.** Operazioni, funzioni, relazioni.
2. **Sistemi numerici.** Successivi ampliamenti del concetto di numero: dai naturali ai complessi.
3. **Spazi euclidei  $R^n$ .** Struttura di spazio vettoriale e spazio topologico.
4. **Funzioni di una variabile.**
- 4a. **Limiti e continuità.** Funzioni composte. Funzioni monotone. Funzione inversa. Definizione di limite. Teoremi sui limiti. Funzioni continue. Teoremi fondamentali sulle funzioni continue. Continuità uniforme.

- 4b. Calcolo differenziale.** Definizione di derivata e di differenziale. Regole di derivazione e di differenziazione. Derivate e differenziali successivi. Massimi e minimi relativi. Teoremi fondamentali sulle funzioni derivabili. Formula di Taylor; applicazioni. Funzioni concave e convexe. Studio del grafico di una funzione.
- 4c. Calcolo integrale per le funzioni di una variabile.** Integrale esteso ad un intervallo e sue proprietà. Teorema fondamentale del calcolo integrale. Integrale indefinito. Metodi di integrazione. Integrali in senso generalizzato.
- 4d. Curve.** Definizione. Proprietà. Lunghezza ed ascissa curvilinea. Tema intrinseca.
- 5. Funzioni di più variabili.** Limiti, continuità, derivate parziali e direzionali, differenziabilità, derivate e differenziali successivi. Formula di Taylor. Integrali di linea. Forme differenziali lineari. Lavoro.

#### Modalità d'esame

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

#### Libri consigliati:

- L. Amerio: *Analisi Matematica con Elementi di Analisi Funzionale*, voi. 1, UTET: Torino.
- C. Citrini: *Analisi Matematica I*, Bollati Boringhieri: Torino.
- G. Gilardi: *Analisi Uno*, McGraw Hill Italia: Milano.
- E. Giusti: *Analisi Matematica 7*, Bollati Boringhieri: Torino.
- C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica*, voi. 1, Masson: Milano.
- F. Buzzetti, E. Grassini, A. Vasconi: *Esercizi di Analisi Matematica I*, parti I e II, Masson: Milano.
- E. Giusti: *Esercizi di Analisi Matematica 7*, Bollati Boringhieri: Torino.
- G. Talenti: *Analisi Matematica e Calcolatori*, Bollati Boringhieri: Torino.

## ANALISI MATEMATICA I

AP0001

(per gli allievi di Ingegneria Chimica, Elettrica, dei Materiali, Nucleare)

Proff. Stefano MEDA, Anna ZARETTI

#### Programma d'esame

- 1. Elementi di Logica.** Proposizioni, connettivi, quantificatori, insiemi, relazioni, funzioni.
- 2. Sistemi numerici.** Numeri naturali, interi, razionali. Assiomi dei numeri reali e loro proprietà. Numeri complessi.
- 3. Spazi euclidei.** Strutture di spazio vettoriale e di spazio topologico. Prodotto scalare, prodotto vettore, prodotto misto.
- 4. Funzioni di una variabile reale:**
- 4a. Limiti e continuità.** Funzione composta, funzione inversa, proprietà di monotonia, limitatezza, convessità. Definizione di limite, teoremi sui limiti. Definizione di continuità. Teoremi fondamentali sulle funzioni continue. Continuità uniforme.
- 4b. Calcolo differenziale.** Definizione di derivata e di differenziale. Regole di derivazione. Derivate successive. Massimi e minimi. Teoremi fondamentali sulle funzioni derivabili. Formula di Taylor; applicazioni. Studio qualitativo del grafico di una funzione.
- 4c. Calcolo integrale.** Integrale di Riemann esteso ad un intervallo e sue proprietà. Teorema fondamentale del calcolo integrale. Integrale indefinito. Metodi di integrazione. Integrale in senso generalizzato.

**5. Funzioni di più variabili reali:**

**5a. Limiti e continuità.** Definizione di limite. Funzioni continue. Teoremi fondamentali sulle funzioni continue. Continuità uniforme.

**5b. Calcolo differenziale.** Derivate parziali, derivate direzionali, differenziale. Condizioni necessarie e condizioni sufficienti per la differenziabilità. Derivate successive. Formula di Taylor. Forme quadratiche. Massimi e minimi liberi.

**6. Curve e integrali curvilinei.** Curve parametriche in  $R^3$ . Curve regolari. Lunghezza e ascissa curvilinea. Tema intrinseca. Integrali curvilinei.

**7. Sistemi dinamici discreti.** Successioni. Limiti di successioni. Criterio di Cauchy. Serie numeriche. Successioni definite per ricorrenza. Metodo grafico. Sistemi dinamici lineari: valori di equilibrio, stabilità, cicli. Comportamento complesso per sistemi non lineari.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

*Libri consigliati*

Adams: *Calcolo differenziale I*, C.E.A, Milano, 1991.

L. Amerio: *Analisi Matematica*, Voi. I, UTET, Torino, 1990.

J.P.Cecconi & G.Stampacchia: *Analisi Matematica I*, Liguori, Napoli, 1980.

C. Citrini: *Analisi Matematica I*, Bollati Boringhieri, Torino 1991.

G. Gilardi: *Analisi Uno*, McGraw Hill Italia, Milano, 1991.

C.D. Pagani & S.Salsa: *Analisi Matematica*, Vol.I, Masson, Milano, 1990.

G. Prodi: *Analisi Matematica*, Boringhieri, Torino, 1980.

G. Geymomat: *Lezioni di Matematica*, Levrotto & Bella, Torino, 1980.

G.Talenti: *Analisi Matematica e Calcolatori*, Torino, 1993.

**ANALISI MATEMATICA II****AP0003**

(per gli allievi di Ingegneria Aerospaziale)

**Prof. Raul SERAPIONI***Programma d'esame***1. Funzioni di più variabili.**

**1a. Campi vettoriali e forme differenziali lineari.** Integrali di linea. Definizione di campi vettoriali irrotazionali e conservativi. Potenziale. Forme differenziali lineari. Forme chiuse e forme esatte. Integrale di forme differenziali lineari (lavoro).

**1b. Calcolo differenziale ed ottimizzazione.** Formula di Taylor; massimi e minimi liberi e vincolanti,

**1c. Calcolo integrale.** Integrale multiplo secondo Riemann e sue proprietà; cambiamento di variabili di integrazione, formula di riduzione. Applicazioni. Integrale in senso generalizzato (cenni),

**1d. Superfici.** Generalità. Piano tangente. Area di una superficie. Integrali di superficie. Teoremi di Gauss-Green, di Stokes e della divergenza. Applicazioni.

**2. Serie numeriche.** Serie a termini reali (non negativi, a segni alterni, di segno qualsiasi) e a termini complessi. Carattere, criteri di convergenza, operazioni.

**3. Approssimazione di funzioni.**

**3a. Successioni di funzioni.** Convergenza puntuale, convergenza uniforme; proprietà della funzione limite.

**3b. Serie di funzioni.** Convergenza puntuale, convergenza uniforme. Derivazione ed integrazione per serie.

**3c. Serie di potenze in  $\mathbb{C}$  e serie di Taylor.** Cerchio di convergenza; legame con le funzioni analitiche. Formula di Eulero. Funzioni analitiche reali: serie di Taylor.

**3d. Serie di Fourier.** Successioni di funzioni ortogonali; i sistemi esponenziale, trigonometrico, di Legendre. Sviluppo in serie di funzioni ortogonali. Serie di Fourier: teoremi di convergenza.

**4. Equazioni differenziali ordinarie.**

**4a. Teoria generale.** Generalità. Problemi di Cauchy; teorema di esistenza ed unicità in piccolo ed in grande, prolungamento delle soluzioni e dipendenza continua dai dati. Integrazione di alcuni tipi di equazioni differenziali del primo e secondo ordine.

**4b. Teoria lineare.** Sistemi lineari e loro integrale generale. Metodo di variazione delle costanti arbitrarie. Equazioni differenziali lineari di ordine  $n$ : integrale generale: problemi ai limiti (autovalori ed autosoluzioni). Integrazioni di alcuni tipi di sistemi ed equazioni lineari. Applicazioni.

**4c. Sistemi autonomi. Stabilità.** Generalità sui sistemi autonomi, spazio delle fasi, orbite, punti di equilibrio, integrali primi. Stabilità e stabilità asintotica secondo Liapunov. Teorema di Liapunov. Stabilità della soluzione di equilibrio per equazioni e sistemi lineari a coefficienti costanti. Stabilità per linearizzazione.

**5. Equazioni differenziali alle derivate parziali.** Generalità. Equazioni del calore, di Poisson, dei telegrafi. Metodi di separazione delle variabili e della serie di Fourier.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

*Testi consigliati*

L. Amerio: *Analisi Matematica con elementi di analisi funzionale*, Voli. I e II, ed. UTET, Torino.

C. Citrini: *Analisi Matematica 2*, Bollati Boringhieri

C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica*, Voli. I e II, ed. Masson, Milano.

G. Malgarini: *Esercizi di Analisi Matematica //*, ed. CLUP, 1984

S. Salsa, A Squellati: *Appunti ed Esercizi*, Voli 1, 2, 3. Ed. Masson, Milano.

C. Vaghi: *Esercizi di Analisi Matematica II*, prima parte, ed. CLUP, 1983.

Integrali doppi ed equazioni differenziali, esercizi tratti da temi d'esame (a cura dei Docenti del Dipartimento di Matematica), ed. CLUP, 1982.

**ANALISI MATEMATICA II**

**AP0003**

(per gli allievi in Ingegneria Civile e per l'Ambiente e il Territorio)

**Proff. Clelia MARCHIONNA, Claudio CITRINI**

*Programma d'esame*

**1. Calcolo differenziale per funzioni di più variabili.** Derivate successive. Teorema di Schwarz. Matrice Hessiana. Formula di Taylor.

**2. Funzioni implicite.** Linee e superfici in forma parametrica. Vettori tangenti e normali. Teorema del Dini. Derivazione della funzione implicita. Involuppi.

**3. Ottimizzazione.** Massimi e minimi liberi per funzioni di più variabili reali. Punti stazionari. Condizione necessaria per gli estremi liberi. Forme quadratiche. Punti di massimo, di minimo e di sella. Condizioni necessarie di estremo vincolato: metodo dei moltiplicatori di Lagrange.

- 4. Calcolo integrale in  $R^n$ .** Cenno al problema della misura. Integrali doppi e multipli; formule di riduzione. Teorema della media. Cambiamento di variabili negli integrali multipli. Coordinate polari, sferiche e cilindriche. Calcolo di baricentri e momenti.
- 5. Integrali di linea e di superficie.** Integrale rispetto all'ascissa curvilinea. Lunghezza di una curva rettificabile. Campi vettoriali irrotazionali e conservativi. Potenziale. Area di una superficie. Formule di Green in  $R^2$  ed in  $R^3$ . Teoremi di Stokes e della divergenza.
- 6. Strutture astratte.** Spazi metrici e normati. Prodotto scalare. Spazi  $C^k$ . Norma lagrangiana e norme integrali. Completezza. Il teorema delle contrazioni. Prodotto scalare in  $L^2$ . Disuguaglianza di Schwarz. Sistemi ortonormali: il sistema trigonometrico.
- 7. Equazioni differenziali ordinarie.** Definizioni. Problema di Cauchy e teoremi di esistenza e unicità locale e globale. Equazioni lineari: principio di sovrapposizione e struttura deH'insieme delle soluzioni. Soluzione di alcuni tipi di equazioni non lineari. Equazioni e sistemi lineari a coefficienti costanti. Problemi ai limiti.
- 8. Approssimazione di funzioni.** Successioni di funzioni. Convergenza puntuale e uniforme. Serie di funzioni: convergenza puntuale e uniforme. Criterio di Weierstrass per la convergenza uniforme delle serie. Teoremi di passaggio al limite, derivazione e integrazione termine a termine per le successioni e serie di funzioni. Serie di Taylor in  $R$  ed in  $C$ . Le funzioni esponenziale e logaritmica nel campo complesso. Funzioni periodiche. Polinomi trigonometrici. Coefficienti e serie di Fourier. Criteri di convergenza puntuale e uniforme. Applicazione alle equazioni differenziali alle derivate parziali.
- 9. Calcolo delle variazioni.** Equazioni di Eulero-Lagrange. Condizioni sufficienti.

#### Modalità d'esame

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

#### Testi consigliati

- L. Amerio: *Analisi Matematica con Elementi di Analisi Funzionale*, Voli. I e II, ed. UTET, Torino.
- C. Citrini: *Analisi Matematica 2*, Bollati Boringhieri, Torino.
- C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica*, Voi. II, ed. Masson, Milano.
- P. Marcellini, C. Sbordone: *Esercitazioni di Matematica*, Voi 2, parti 1 e 2, Liguori, Napoli.
- S. Salsa, A. Squellati: *Esercizi di Analisi Matematica 2*, parti 1,2,3, Masson, Milano.
- F. Demidovic: *Esercizi e Problemi di Analisi Matematica*, Editori Riuniti.
- F. Buzzetti, E. Grassini, A. Vasconi: *Esercizi di Analisi Matematica 1*. Parte II, Masson, Milano.

## ANALISI MATEMATICA II

AP0003

(per allievi di Ingegneria Biomedica, Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni)

**Proff. Maurizio GRASSELLI, Maria Lavinia RICCI BOELLA, Luisa ROSSI COSTA, Carla VAGHI**

#### Programma d'esame

- 1. Campi vettoriali e forme differenziali lineari.** Campi irrotazionali e campi conservativi. Potenziale. Forme differenziali lineari e loro integrazione. Lavoro.
- 2. Funzioni reali di più variabili reali.** Formula di Taylor, massimi e minimi liberi e vincolati, metodo dei moltiplicatori di Lagrange.

**3. Calcolo integrale per le funzioni di più variabili.** Integrali doppi e multipli: definizione, proprietà, teorema della media, significato geometrico. Formula di riduzione di un integrale doppio a due successive integrazioni semplici. Cambiamento di variabili negli integrali multipli. Superfici in forma parametrica: piano tangente, area di una superficie, integrali di superficie. Formula di Green, teoremi di Stokes e della divergenza.

**4. Funzioni di variabili complesse.** Funzioni analitiche di una o più variabili. Condizioni di Cauchy-Riemann. Definizione di  $e^z$ ,  $\log z$  e di altre funzioni analitiche. Formula di Eulero.

**5. Funzioni implicite.** Funzioni implicite di una o più variabili e sistemi di funzioni implicite. Teorema di Dini. Applicazioni geometriche.

**6. Serie numeriche.** Serie a termini reali (positivi, di segno alternato, qualsiasi) e a termini complessi. Criteri di convergenza. Maggiorazione del resto. Operazioni sulle serie e proprietà relative.

**7. Successioni e serie di funzioni.** Convergenza puntuale ed uniforme. Criteri di convergenza. Teoremi del limite, derivazione ed integrazione per successioni e teoremi analoghi per serie. Serie di Taylor e Mac Laurin. Serie di potenze nel campo complesso e nel campo reale, analiticità della somma.

**8. Serie di Fourier.** Serie di Fourier in forma trigonometrica ed esponenziale. Convergenza in media, puntuale, uniforme. Integrabilità termine a termine.

**9. Equazioni differenziali ordinarie.** Equazioni e sistemi di equazioni differenziali di ordine qualsiasi e loro riduzione a sistemi di equazioni del primo ordine. Problema di Cauchy e teorema di esistenza ed unicità in piccolo ed in grande (prolungabilità degli integrali). Metodi approssimanti. Integrazione di alcuni tipi di equazioni del primo ordine o riducibili al primo ordine in forma normale e non normale. Integrazione dei sistemi con il metodo delle eliminazioni successive. Equazioni e sistemi lineari omogenei e non: matrice wronskiana, teorema di Jacobi e di Liouville, integrale generale. Metodo della variazione delle costanti arbitrarie. Problemi ai limiti lineari: autovalori ed autosoluzioni. Integrazione delle equazioni lineari a coefficienti costanti e di Eulero.

**10. Calcolo delle variazioni.** Funzionali: definizioni ed esempi. Linee  $y = y(x)$  di massimo e di minimo relativo per un funzionale del tipo  $\int_a^b f(x, y, y') dx$ . Equazione di Eulero Lagrange.

**11. Equazioni differenziali alle derivate parziali.** Cenni ed esempi.

#### Modalità d'esame

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

#### Testi consigliati

L. Amerio: *Analisi Matematica con Elementi di Analisi Funzionale*, Voli. I e II, ed. UTET, Torino.

C. Citrini: *Analisi Matematica*, Voli. I e II, ed. Bollati Boringhieri, Torino.

C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica*, Voli. I e II, ed. Masson, Milano.

R. A. Adams : *Calcolo differenziale 2 (funzioni di più variabili)*, ed. Ambrosiana, Milano 1993.

G. Malgarini: *Esercizi di Analisi Matematica II*, ed. CLUP 1984.

C. Vaghi: *Esercizi di Analisi Matematica //*, prima parte, ed. CLUP, 1983.

S. Salsa, A. Squellati: *Esercizi di Analisi Matematica //*, ed. Masson, Milano.

Integrali doppi ed equazioni differenziali, esercizi tratti da temi d'esame (a cura dei Docenti del Dipartimento di Matematica), ed. CLUP, 1982.

Temi d'esame di Analisi II (a cura di docenti del Dipartimento di Matematica), Ed. CLUP, 1977.

**ANALISI MATEMATICA II****AP0003**

(per gli allievi di Ingegneria Chimica)

**Prof. Franco TOMARELLI***Programma d'esame*

- 1. Campi vettoriali e forme differenziali lineari.** Integrali dipendenti da un parametro. Campi conservativi, campi irrotazionali, campi solenoidali. Potenziale. Forme differenziali lineari. Forme chiuse, forme esatte. Integrale di una forma differenziale. Lavoro. Semplice connessione, criteri di esattezza.
- 2. Successioni e serie di funzioni.** Richiami sulle serie numeriche. Convergenza puntuale e convergenza uniforme. Criteri di convergenza uniforme. Funzioni analitiche. Serie di potenze nel cam-po reale e complesso. Serie di Taylor. Funzioni elementari nel campo complesso. Formula di Eulero.
- 3. Serie di Fourier.** Spazi metrici, normati e con prodotto scalare. Spazio  $C^\circ([a,b])$ : norma lagrangiana e norme integrali; convergenza uniforme e convergenza in media. Sistemi orto-normali. Sviluppi in serie di Fourier: convergenza puntuale, uniforme ed in media.
- 4. Funzioni implicite.** Teorema del Dini e teorema di inversione locale. Interpretazioni geometriche. Curve, superfici, varietà. Punti critici. Massimi e minimi vincolati per funzioni di più variabili: metodo dei moltiplicatori di Lagrange, condizioni di Kuhn-Tucker.
- 5. Integrali multipli.** Misura di Peano-Jordan. Integrale di Riemann. Cambiamento di variabili. Elementi di geometria differenziale delle superfici. Integrali di superficie. Formule di Gauss-Green, di Stokes e Teorema della divergenza.
- 6. Equazioni differenziali ordinarie.** Problema di Cauchy per equazioni o sistemi di equazioni differenziali: esistenza ed unicità (locale e globale). Equazioni e sistemi lineari. Teorema di Jacobi. Metodo della variazione delle costanti arbitrarie. Problemi ai limiti lineari: autovalori ed autosoluzioni. Integrazione di alcune classi di equazioni nonlineari. Sistemi dinamici: spazio delle fasi; traiettorie. Sistemi autonomi: punti critici, soluzioni stazionarie e soluzioni periodiche. Stabilità. Attrattori. Linearizzazione. Teorema di Liapounov.
- 7. Cenni alle equazioni differenziali alle derivate parziali.** Problemi ed equazioni della fisica matematica. Equazioni di Laplace, del calore e delle onde: metodo della separazione delle variabili.
- 8. Elementi di calcolo delle probabilità e statistica.** Calcolo combinatorio. Probabilità discreta. Probabilità geometrica. Eventi indipendenti. Processo di Bernoulli. Probabilità condizionata. Legge di Bayes. Variabili aleatorie. Media, mediana, moda. Principio di inclusione-esclusione. Distribuzione binomiale e distribuzione normale. Teorema centrale. Legge dei grandi numeri.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

*Testi consigliati*

R.A. Adams: *Calcolo Differenziale 2, Funzioni di più variabili*, CEA, Milano 1992.

L. Amerio: *Analisi Matematica*, Voi. II, UTET, Torino, 1990.

C. Citrini: *Analisi Matematica 2*, Bollati Boringhieri, Torino, 1992.

C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica*, Voi. II, Masson, Milano, 1991.

K. Baclawski, M. Cerasoli & G.C. Rota: *Introduzione alla probabilità*, Unione Matematica Italiana, Bologna, 1984.

M. W. Hirsch & S. Smale: *Differential Equations, Dynamical Systems and Linear Algebra*, Academic Press, 1974.

**ANALISI MATEMATICA II****AP0003**

(per gli allievi in Ingegneria Edile)

**Prof. Stefano MORTOLA***Programma d'esame*

**1. Calcolo differenziale per funzioni di più variabili.** Derivate parziali e direzionali. Differenziabilità per funzioni di più variabili scalari e vettoriali. Gradiente. Differenziazione della funzione composta e inversa. Derivate successive. Teorema di Schwarz. Matrice Hessiana. Formula di Taylor.

**2. Funzioni implicite.** Linee e superfici in forma parametrica. Vettori tangenti e normali. Teorema del Dini. Derivazione della funzione implicita.

**3. Ottimizzazione.** Massimi e minimi liberi per funzioni di più variabili reali. Punti stazionari. Condizione necessaria per gli estremi liberi. Forme quadratiche. Condizioni necessarie: punti di massimo di minimo e di sella. Condizioni necessarie di estremo vincolato: metodo dei moltiplicatori di Lagrange.

**4. Calcolo integrale in  $R^n$ .** Cenno al problema della misura. Integrali doppi e multipli; formule di riduzione. Teorema della media. Cambiamento di variabili negli integrali multipli. Coordinate polari, sferiche e cilindriche. Calcolo di baricentri e momenti.

**5. Integrali di linea e di superficie.** Integrale rispetto all'ascissa curvilinea. Lunghezza di una curva rettificabile. Campi vettoriali irrotazionali e conservativi. Potenziale. Area di una superficie.

Formule di Green in  $R^2$  ed in  $R^3$ . Teoremi di Stokes e della divergenza.

**6. Strutture astratte.** Spazi metrici e normati. Prodotto scalare. Spazi  $C^k$ . Norma lagrangiana e norme integrali. Completezza. Il teorema delle contrazioni. Prodotto scalare in  $L^2$ . Disuguaglianza di Schwarz. Sistemi ortonormali: il sistema trigonometrico.

**7. Approssimazione di funzioni.** Successioni di funzioni. Convergenza puntuale e uniforme. Serie di funzioni: convergenza puntuale, semplice assoluta. Criterio di Weierstrass per la convergenza uniforme delle serie. Teoremi di passaggio al limite, derivazione e integrazione termine a termine per le successioni e serie di funzioni. Serie di Taylor in  $\mathbf{R}$  ed in  $\mathbf{C}$ . Le funzioni esponenziale e logaritmica nel campo complesso. Funzioni periodiche. Polinomi trigonometrici. Coefficienti e serie di Fourier. Disuguaglianza di Bessel. Criteri di convergenza puntuale e uniforme.

**8. Equazioni differenziali ordinarie.** Definizioni. Problema di Cauchy e teoremi di esistenza e unicità locale e globale. Equazioni lineari: principio di sovrapposizione e struttura deirinsieme delle soluzioni. Soluzione di alcuni tipi di equazioni non lineari. Equazioni e sistemi lineari a coefficienti costanti. Problemi ai limiti. Stabilità lineare e metodo di Liapunov.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

*Testi consigliati*

L. Amerio: *Analisi Matematica con Elementi di Analisi Funzionale*, Voli. I e II, ed. UTET, Torino.

C. Citrini: *Analisi Matematica 2*, Bollati Boringhieri, Torino.

C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica*, Voi. II, ed. Masson, Milano.

P. Marcellini, C. Sbordone: *Esercitazioni di Matematica*, Voi 2, parti 1 e 2, Liguori, Napoli.

S. Salsa, A. Squellati: *Esercizi di Analisi Matematica 2*, parti 1,2,3, Masson, Milano.

F. Demidovic: *Esercizi e Problemi di Analisi Matematica*, Editori Riuniti.

F. Buzzetti, E. Grassini, A. Vasconi: *Esercizi di Analisi Matematica 2*, Masson, Milano.

**ANALISI MATEMATICA II**

**AP0003**

(per gli allievi di Ingegneria Elettrica, Nucleare)

**Prof.ssa Fiorangela DAL FABBRO**

*Programma d'esame*

**1. Campi vettoriali e forme differenziali lineari.** Integrali dipendenti da un parametro. Campi conservativi, campi irrotazionali, campi solenoidali. Potenziale. Forme differenziali lineari. Forme chiuse, forme esatte. Integrale di una forma differenziale. Lavoro. Semplice connessione, criteri di esattezza.

**2. Successioni e serie di funzioni.** Richiami sulle serie numeriche. Convergenza puntuale e convergenza uniforme. Criteri di convergenza uniforme. Funzioni analitiche. Serie di potenze nel campo reale e complesso. Serie di Taylor. Funzioni elementari nel campo complesso. Formula di Eulero.

**3. Serie di Fourier.** Spazi metrici, normati e con prodotto scalare. Spazio  $C^0([a,b])$ : norma lagrangiana e norme integrali; convergenza uniforme e convergenza in media. Sistemi ortonormali. Sviluppi in serie di Fourier: convergenza puntuale, uniforme ed in media.

**4. Funzioni implicite.** Teorema del Dini e teorema di inversione locale. Interpretazioni geometriche. Curve, superfici, varietà. Punti critici. Massimi e minimi vincolati per funzioni di più variabili: metodo dei moltiplicatori di Lagrange, condizioni di Kuhn-Tucker.

**5. Integrali multipli.** Misura di Peano-Jordan. Integrale di Riemann.. Cambiamento di variabili. Elementi di geometria differenziale delle superfici. Integrali di superficie. Formule di Gauss-Green, di Stokes e Teorema della divergenza.

**6. Equazioni differenziali ordinarie.** Problema di Cauchy per equazioni o sistemi di equazioni differenziali: esistenza ed unicità (locale e globale). Equazioni e sistemi lineari. Teorema di Jacobi. Metodo della variazione delle costanti arbitrarie. Problemi ai limiti lineari: autovalori ed autosoluzioni. Integrazione di alcune classi di equazioni nonlineari. Sistemi dinamici: spazio delle fasi; traiettorie. Sistemi autonomi: punti critici, soluzioni stazionarie e soluzioni periodiche. Stabilità. Attrattori. Linearizzazione. Teorema di Liapounov.

**7. Cenni alle equazioni differenziali alle derivate parziali.** Problemi ed equazioni della fisica matematica. Equazioni di Laplace, del calore e delle onde: metodo della separazione delle variabili.

**8. Elementi di calcolo delle probabilità e statistica.** Calcolo combinatorio. Probabilità discreta. Probabilità geometrica. Eventi indipendenti. Processo di Bernoulli. Probabilità condizionata. Legge di Bayes. Variabili aleatorie. Media, mediana, moda. Principio di inclusione-esclusione. Distribuzione binomiale e distribuzione normale. Teorema centrale. Legge dei grandi numeri.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

#### *Testi consigliati*

R.A. Adams: *Calcolo Differenziale 2, Funzioni di più variabili*, CEA, Milano 1992.

L. Amerio: *Analisi Matematica*, Voi. II, UTET, Torino, 1990.

C. Citrini: *Analisi Matematica 2*, Bollati Boringhieri, Torino, 1992.

C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica*, Voi. II, Masson, Milano, 1991.

K. Baclawski, M. Cerasoli & G.C. Rota: *Introduzione alla probabilità*, Unione Matematica Italiana, Bologna, 1984.

M. W. Hirsch & S. Smale: *Differential Equations, Dynamical Systems and Linear Algebra*, Academic Press, 1974.

## **ANALISI MATEMATICA II**

**AP0003**

(per gli allievi di Ingegneria Gestionale e dei Materiali)

**Proff. Tullia NORANDO, Francesca ROLANDI.**

#### *Programma d'esame*

### **1. Funzioni di una variabile.**

**Curve.** Definizioni. Proprietà. Lunghezza e ascissa curvilinea. Tema intrinseca. Integrale di linea.

### **2. Funzioni di più variabili.**

**2a. Campi vettoriali e forme differenziali lineari.** Definizione di campo vettoriale. Gradiente, rotore, divergenza. Campi irrotazionali e campi conservativi. Potenziale. Forme differenziali lineari. Forme chiuse e forme esatte. Integrale di forme differenziali lineari (lavoro).

**2b. Ottimizzazione libera e vincolata.** Teoremi sulle funzioni differenziabili. Derivate e differenziali successivi. Formula di Taylor. Forme quadratiche. Massimi e minimi liberi. Moltiplicatori di Lagrange.

**2c. Funzioni implicite.** Teorema di Dini; applicazioni.

- 2d. Calcolo integrale.** Integrale multiplo secondo Riemann e sue proprietà; cambiamento di variabili di integrazione, formula di riduzione. Area di una superficie. Teoremi di Gauss-Green, di Stokes e della divergenza. Applicazioni. Integrale in senso generalizzato.
- 3. Funzioni complesse.** Limite, continuità, derivabilità, condizione di analiticità di Cauchy-Riemann.
- 4. Serie numeriche.** Serie a termini reali (non negativi, a segni alterni, di segno qualsiasi) e a termini complessi. Carattere, criteri di convergenza, operazioni.
- 5. Approssimazione di funzioni.**
- 5a. Successioni di funzioni.** Convergenza puntuale, convergenza uniforme; proprietà della funzione limite.
- 5b. Serie di funzioni.** Convergenza puntuale, convergenza uniforme. Derivazione ed integrazione per serie.
- 5c. Serie di potenze e serie di Taylor.** Cerchio di convergenza; legame con le funzioni analitiche. Formula di Eulero. Funzioni analitiche reali: serie di Taylor.
- 5d. Serie di Fourier.** Successioni di funzioni ortogonali; i sistemi esponenziale, trigonometrico, di Legendre. Sviluppo in serie di funzioni ortogonali. Serie di Fourier: teoremi di convergenza.
- 6. Equazioni differenziali ordinarie.**
- 6a. Teoria generale.** Generalità. Problemi di Cauchy; teoremi di esistenza ed unicità in piccolo ed in grande, prolungamento delle soluzioni e dipendenza continua dai dati. Integrazione di alcuni tipi di equazioni differenziali del primo e secondo ordine.
- 6b. Teoria lineare.** Sistemi lineari e loro integrale generale. Metodo di variazione delle costanti arbitrarie. Equazioni differenziali lineari di ordine  $n$ : integrale generale, problemi ai limiti (autovalori ed autosoluzioni). Integrazioni di alcuni tipi di sistemi ed equazioni lineari. Applicazioni.
- 7. Equazioni differenziali alle derivate parziali.** Generalità. Equazioni del calore, di Poisson, dei telegrafi. Metodi di separazione delle variabili e della serie di Fourier.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

#### *Testi consigliati*

- L. Amerio: *Analisi Matematica con Elementi di Analisi Funzionale*, Voli. I e II, ed. UTET, Torino.
- C. Citrini: *Analisi Matematica*, Voli. I e II, Bollati Boringhieri, Torino.
- C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica*, Voi. I e II, ed. Masson, Milano.
- G. Malgarini: *Esercizi di Analisi Matematica II*, ed. CLUP 1984.
- S. Salsa, A. Squellati: *Esercizi di Analisi Matematica II*, ed. Masson, Milano.
- C. Vaghi: *Esercizi di Analisi Matematica II*, prima parte, ed. CLUP, 1983.
- Integrali doppi ed equazioni differenziali, esercizi tratti da temi d'esame (a cura dei Docenti del Dipartimento di Matematica), ed. CLUP, 1982.

## **ANALISI MATEMATICA II**

(per gli allievi di Ingegneria Meccanica)

**Prof.ssa Tiziana COLLINI**

**AP0003**

#### *Programma d'esame*

- 1. Serie di funzioni.** Convergenza puntuale ed uniforme. Criteri di convergenza uniforme. Teoremi di passaggio al limite, integrazione e derivazione per serie di funzioni.

Funzioni analitiche. Serie di potenze nel campo reale e complesso. Insiemi di convergenza assoluta e uniforme. Teorema di Abel. Serie di Taylor. Funzioni elementari nel campo complesso. Formula di Eulero.

**2. Serie di Fourier.** Serie di Fourier in forma trigonometrica ed esponenziale. Convergenza in media, puntuale, uniforme. Integrabilità termine a termine.

**3. Integrali di linea-forme differenziali lineari.** Integrali di linea, definizione e proprietà. Integrazione di forme differenziali lineari. Lavoro - forme differenziali lineari esatte - Funzione potenziale - Lavoro in un campo vettoriale conservativo.

**4. Funzioni di più variabili reali.** Formula di Taylor. Forme quadratiche. Studio di una superficie. Massimi e minimi.

**5. Funzioni implicite.** Funzioni definite implicitamente da una equazione o da un sistema di equazioni. Teorema di Dini. Applicazioni geometriche. Inviluppo di una famiglia di linee piane. Massimi e minimi vincolati. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange. Interpretazione geometrica.

**6. Equazioni differenziali ordinarie.** Definizione e formazione di equazioni differenziali. Problema di Cauchy per equazioni o sistemi di equazioni differenziali in forma normale: esistenza ed unicità della soluzione (locale e globale). Metodi di Peano-Picard e degli sviluppi in serie di Taylor. Prolungamento degli integrali. Equazioni differenziali in forma non normale. Integrazione di alcuni tipi di equazioni del primo ordine. Integrazione delle equazioni lineari a coefficienti costanti e di Eulero di ordine  $n$ . Sistemi lineari. Studio qualitativo delle equazioni differenziali. Problemi ai limiti: autovalori e autosoluzioni. Cenni sulle equazioni differenziali alle derivate parziali.

**7. Calcolo integrale per le funzioni di più variabili.** Misura secondo Lebesgue degli insiemi chiusi e aperti limitati. Insiemi quadrabili. Definizione di integrale multiplo: proprietà, interpretazione geometrica, formula di calcolo. Cambiamento di variabili negli integrali doppi. Superfici in forma parametrica: piano tangente, area di una superficie, integrali di superficie. Teoremi di Green, Stokes e della divergenza.

#### Modalità d'esame

L'esame consta in una prova scritta e di una prova orale.

#### Testi consigliati

L. Amerio: *Analisi Matematica II*, UTET, Torino.

C. Citrini: *Analisi Matematica II*, Bollati Boringhieri, Torino.

C.D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica II*, Masson.

G. Malgarini: *Esercizi di Analisi Matematica II*, CLUP, Milano

S. Salsa-A. Squellati: *Esercizi di Analisi Matematica II*, Masson

C. Vaghi: *Analisi Matematica II - Esercizi*, CLUP, Milano.

## ANALISI MATEMATICA III

AP0019

Proff. Marco BIROLI, Carlo Domenico PAGANI, Carla VAGHI

#### Programma d'esame

**1 - Funzioni analitiche:** Derivazione complessa e analiticità, condizioni di monogeneità. Integrazione di una funzione analitica in un campo di connessione qualsiasi: teorema di Cauchy. Formula integrale di Cauchy. Infinita derivabilità di una funzione analitica. Serie di Taylor. Serie di Lau-

rent. Classificazione delle singolarità isolate, al finito e all'infinito. Residui: calcolo di integrali definiti. Principi di identità. Serie di funzioni analitiche. Rappresentazione conforme. Indicatore logaritmico, teorema di Rouché. Funzioni poldrome (cenni). Funzioni euleriane.

**2 - Elementi di analisi funzionale:** Misura di Lebesgue; funzioni misurabili. Continuità e misurabilità. Convergenza quasi ovunque e convergenza uniforme. Integrale di Lebesgue; completa additività; passaggio al limite sotto il segno di integrale. Spazi vettoriali. Spazi metrici. Topologia indotta dalla metrica. Spazi di Banach. Gli spazi  $C^n$  e la norma lagrangiana. Gli spazi  $L^p$  e la norma integrale; teorema di Fischer-Riesz. Spazi di Hilbert; disuguaglianza di Schwarz. Lo spazio  $L^2$ . Sottospazi, teorema di decomposizione. Sviluppi in serie di funzioni ortogonali; uguaglianza di Parseval e disuguaglianza di Bessel. Polinomi di Legendre, di Laguerre e di Hermite. Cenni sulle distribuzioni.

**3 - Trasformate integrali:** Trasformata di Fourier in  $L^1$ ; relazioni funzionali tra funzione generatrice e trasformata. Teorema di convoluzione. Formula di inversione. Trasformata di Fourier in  $Z_2$ ; teorema di Plancherel. Trasformata di Laplace; semipiano di convergenza e analiticità; relazioni funzionali; convoluzione; inversione della trasformata. Applicazioni: sistemi differenziali lineari a coefficienti costanti, equazioni integrali o integro-differenziali di tipo convolutivo.

**4 - Equazioni differenziali a derivate parziali:** Esempi di equazioni e problemi della Fisica Matematica. La nozione di problema ben posto. Il problema di Cauchy: risoluzione col metodo delle caratteristiche per le equazioni quasi-lineari del primo ordine. Classificazione dei sistemi del primo ordine e delle equazioni del secondo ordine in due variabili indipendenti: caratteristiche, domini di dipendenza. Equazioni di Laplace e di Poisson: problemi di Dirichlet e di Neumann. Funzioni armoniche, teorema della media, principio del massimo. Equazione del calore. Equazioni di propagazione ondosa (della corda vibrante, dei telegrafi,...). Interpretazione hilbertiana delle relazioni energetiche. Metodi risolutivi: per separazione di variabili, mediante trasformate integrali, con sviluppi in serie di funzioni ortogonali, alle differenze finite.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale preceduta da un esercizio scritto.

#### *Libri consigliati*

Amerio L.: *Analisi Matematica, voi III*, parte prima e seconda, Utet, Torino.

Gilbarg D., Trudinger N.S.: *Elliptic differential equations of second order*, Springer Verlag, 1983.

Smoller J.: *Shock waves and reaction diffusion systems*, Springer Verlag, 1983.

Weinberger H.: *A first course in partial differential equations*, J. Wiley & Sons, 1965.

Bramanti M.: *Esercitazioni di Analisi 3*.

Tomarelli F.: *Esercizi di metodi per l'ingegneria*, Città Studi, Milano, 1993.

Un programma dettagliato è in distribuzione presso il Dipartimento di Matematica.

## **ANALISI MATEMATICA III, 2**

**000893**

**Prof. Franco TOMARELLI**

#### *Programma d'esame*

**1 - Funzioni analitiche e integrale di Lebesgue:** Derivazione complessa. Condizioni di Cauchy-Riemann. Teorema di Cauchy. Analiticità delle funzioni olomorfe. Trasformazioni conformi. Teorema dei residui. Calcolo effettivo di residui. Principio del prolungamento analitico. Funzioni poldrome. Indicatore logaritmico. Teorema di Rouché. Calcolo di integrali

mediante tecniche di variabile complessa. Misura ed integrale di Lebesgue. Teorema della convergenza dominata. Spazi di Banach e di Hilbert. Spazi  $C^k$ ,  $C^k$ ,  $L^1$ ,  $L^2$ .

2 - **Teoria elementare delle distribuzioni:** Delta di Dirac. Dipoli. Funzioni test. Distribuzioni. Derivate di una distribuzione. Distribuzioni temperate. Problemi di divisione. Convulsione.

3. **Trasformata di Fourier:** Trasformata in  $L^1$  e in  $L^2$ . Lemma di Riemann-Lebesgue. Regole algebriche e funzionali di trasformazione. Forma spettrale: spettro di fase e spettro di ampiezza. Formula di inversione. Teorema di Plancherel. Trasformata di distribuzioni temperate. Teorema di Paley-Wiener. Soluzione di equazioni differenziali ordinarie ed integrodifferenziali nell'ambito delle distribuzioni temperate.

4. **Serie di Fourier di segnali periodici:** Calcolo dei coefficienti. Proprietà di convergenza. Distribuzioni periodiche. Interferenza, battimenti, sovrapposizione caotica. Serie di Fourier e trasformata di Fourier di un treno di impulsi. Soluzioni periodiche di equazioni differenziali ordinarie.

5. **Trasformata di Laplace e Z trasformata:** Funzioni e distribuzioni Laplace trasformabili. Analiticità della trasformata. Formula di inversione. Regole algebriche e funzionali di trasformazione. Teorema del valore iniziale. Teorema del valore finale. Soluzione di problemi differenziali con condizioni iniziali. Segnali causali soluzioni di equazioni integrodifferenziali. Equazioni con ritardo. Applicazioni ai circuiti elettrici. Equazioni alle differenze. Z trasformata.

6. **Teoria del segnale deterministico:** Segnali analogici. Segnali discreti. Segnali causali (relazioni di Hilbert). Relazioni tra serie e trasformata di Fourier di segnali periodici. Spettri continui e discreti. Correlazione tempo-frequenza e principio di indeterminazione. Teorema fondamentale dei filtri. Funzioni di trasferimento. Teorema del campionamento di Shannon. Modulazione di ampiezza. Equazioni alle differenze. Wavelets.

7. **Equazioni a derivate parziali:** Classificazione. Condizioni iniziali. Condizioni al contorno: problema di Dirichlet, problema di Neumann, problema misto, dati periodici. Soluzione mediante trasformate. Principio di sovrapposizione per problemi lineari.

8. **Equazioni di Maxwell:** Equazione di Laplace. Equazione di Poisson. Potenziale scalare e vettore. Cariche puntiformi e metodo delle immagini.

9. **Equazione delle onde :** Equazione delle onde. Onde piane. Corda vibrante. Membrana vibrante. Onde sferiche. Principio di Huygen. Equazione di diffusione. Equazione dei telegrafi. Equazione di Helmholtz. Equazione di Schrodinger.

10. **Metodo di separazione delle variabili:** Domini a simmetria radiale. Domini di tipo rettangolare. Problemi di autovalori. Uso delle serie di Fourier e regolarità. Oscillatori e cavità risonanti.

#### *Modalità di esame*

L'esame consta di due parti. Nella prova scritta sono proposti problemi risolubili mediante le tecniche trattate nel corso. Nella parte orale dell'esame si richiedono le proprietà fondamentali delle funzioni analitiche e delle trasformate di Fourier e Laplace di funzioni, e la conoscenza dettagliata di due a scelta dei capitoli del programma.

*Libri consigliati*

L. Amerio: *Analisi Matematica*, voi III, parte prima e seconda. UTET, Torino.

P. Farlow: *Partial Differential Equations for Scientists & Engineers*, John Wiley & Sons, 1982.

G. Gilardi: *Analisi tre*, McGraw-Hill, Milano, 1994.

F. Tomarelli: *Metodi Matematici per l'Ingegneria*, CittàStudi, Milano, 1993.

M. Bramanti: *Esercitazioni di Analisi III*, CUSL, Milano, 1993.

**ANALISI MATEMATICA III (1/2 annualità, 2)****APOI 12****Prof.ssa Anna ZARETTI****Scopo.**

Il corso si propone di fornire una presentazione delle equazioni differenziali alle derivate parziali con riferimento sia alle loro soluzioni classiche che a quelle generalizzate. In particolare si considerano problemi associati ad equazioni di tipo ellittico (con riferimento a problemi di potenziale e di elasticità lineare), parabolico (equazioni di diffusione e trasporto), e iperbolico (con riferimento a leggi di conservazione). Sono sviluppate inoltre alcune applicazioni rilevanti a problemi dell'ingegneria. Questo corso mette a fuoco gli aspetti matematico-analitici dei problemi alle derivate parziali, mentre i corrispondenti aspetti numerici sono sviluppati nel corso (semiannuale) di Metodi numerici per l'Ingegneria. I due corsi saranno strettamente coordinati ed è quindi auspicabile che gli studenti che seguono il corso di Analisi Matematica III (1/2 annualità, 2) seguano anche il corso di Metodi numerici per l'Ingegneria.

**Contenuti.**

1. Teoria dell'integrazione secondo Lebesgue.
2. Elementi di analisi funzionale: spazi di Banach e di Hilbert; convergenza debole e forte; operatori e funzionali lineari in spazi di Banach e di Hilbert; spazio duale teoremi di rappresentazione e forme bilineari. Spazi di Sobolev: teoremi di immersione e teoremi di traccia.
3. Teoria delle distribuzioni: spazi  $D$  e  $D'$ . Definizione delle operazioni fondamentali: derivazione di distribuzioni.
4. Le equazioni alle derivate parziali in ambito classico; generalità e classificazione; problemi ai valori iniziali e al contorno. Unicità della soluzione; metodo di separazione delle variabili.
5. Problemi al contorno per equazioni di tipo ellittico e loro formulazione variazionale; autovalori ed autosoluzioni. Teoremi di esistenza e unicità. Cenni alla regolarità delle soluzioni.
6. Problemi di evoluzione per equazioni di tipo parabolico (equazioni di diffusione e diffusione-trasporto): soluzioni generalizzate; teoremi di esistenza e unicità e regolarità delle soluzioni.
7. Problemi di evoluzione di tipo iperbolico (leggi di conservazione, equazione delle onde); soluzioni generalizzate; teoremi di esistenza ed unicità delle soluzioni.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale. Per quegli studenti che avessero seguito anche il corso semiannuale di Metodi Numerici per l'Ingegneria oppure quello di Analisi Matematica III, (1/2 annualità 1) (APOI09) è prevista una sola prova d'esame coordinata fra i relativi docenti.

*Testi consigliati*

- L. Amerio: *Analisi Matematica con elementi di analisi funzionale*, voi. Ili, parti I, II, UTET, 1986  
 Claes Johnson: *Numerical Solutions of P.D.E. by the finite element method*, Cambridge University Press, 1987  
 C.D. Pagani, S. Salsa : *Analisi Matematica*, Voi. II Masson, Milano, 1992  
 G. Prouse: *Equazioni differenziali alle derivate parziali*, Tamburini, 1972.  
 A. Quarteroni, A. Valli: *Numerical Approximation of Partial Differential Equations, Series in Computational Mathematics*, Springer Verlag, Berlin, 1994.  
 P.A. Raviart, J.M. Thomas: *Analyse numerique des equations aux dérivées partielles*, Masson, Paris, 1984.  
 M. M. Smirnov: *Second Order Partial differential Equations*, Nordhoff, Groningen, The Netherlands, 1967.

**ANALISI SPERIMENTALE DELLE TENSIONI**  
**Prof. Michele SANGIRARDI**

AR0016

*Programma d'esame***I - Fondamenti per l'analisi sperimentale delle tensioni e i controlli non distruttivi.**

- 1) Richiami di teoria della elasticità. Stato piano di tensione e di deformazione. Traiettorie delle tensioni principali e linee isocline.
- 2) Teoria dei modelli: fattori di scala e caratteristiche dei materiali.
- 3) Richiami di acustica e di elettromagnetismo applicato (ottica, campo non visibile).

**II - Metodi per l'analisi sperimentale delle tensioni e delle deformazioni.****A. Metodi a visione di insieme.**

- 1) Fotoelasticità, principi fondamentali, strumenti di misura; esempi di applicazione a casi piani; metodi fotoelastici su modelli tridimensionali per lo studio delle tensioni, in particolare negli organi delle macchine. Applicazioni fotoelastiche per misure in Meccanica della Frattura.
- 2) Fotoelasticità per riflessione su modelli metallici o strutture reali.
- 3) Interferometria olografica.
- 4) Vernici fragili per lo studio delle isostatiche in superficie.
- 5) Termoelasticità.

**B. Metodi di misura locale.**

- 1) Estensimetri elettrici; tipologie, criteri di scelta e tecniche d'uso. Rosette estensimetriche per la determinazione delle tensioni; metodo estensimetrico per la valutazione delle tensioni residue. Uso di centraline estensimetriche per misure in prove statiche e dinamiche; trasmissione del segnale da organi in movimento. Uso di estensimetri per misure in Meccanica della Frattura. Misure su laminati in materiale composito.

**Ili - Controlli non distruttivi.**

- 1) Confronto tra le prestazioni delle tecniche di controllo non distruttivo per lo studio di difetti affioranti, sottopelle, interni.
- 2) Raggi X in radiografia e radioscopia. Misura delle tensioni residue mediante diffrazione di raggi X.
- 3) Ultrasuoni. Sonde ad emissione normale ed inclinata. Indagine per riflessione e per trasparenza.
- 4) Liquidi penetranti.
- 5) Metodi magnetici; tecniche a campo impresso o con immissione di corrente.
- 6) Metodo a correnti parassite.
- 7) Emissione Acustica.
- 8) Cenni ad altri metodi.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni di carattere sperimentale, verranno svolte a squadre. Nel corso delle esercitazioni gli allievi avranno modo di vedere applicati i concetti della analisi sperimentale delle tensioni e del controllo non distruttivo a situazioni di interesse meccanico, prendendo dimestichezza con gli strumenti propri dei vari metodi. Gli allievi potranno altresì eseguire il rilievo e la elaborazione di dati sperimentali nel corso di prove pratiche connesse con gli argomenti svolti a lezione.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sugli argomenti in programma.

*Libri consigliati*

A. Mondina: *La fotoelasticità*, appunti editi dalla CUSL.

J.W. Daily, W.F. Riley: *Experimental stress analysis*, Me Graw-Hill, int. editors.

R. Mac Master: *Non destructive testing handbook*, The Ronald Press Company, New York.

A. Gilardoni: *Defectologia (CND)* - Ed. Gilardoni - Mandello Lario (CO).

*Le Prove non distruttive* - Ed. AIM - P.le Morandi 2 - Milano

**ANTENNE****AG0232****Prof. Aldo PARABONI***Programma d'esame*

**1 - Generalità:** Concetti generali sulla radiazione e captazione. La teoria della radiazione. Proprietà generali delle antenne. Teoremi e algoritmi particolari nello studio della radiazione (Principio delle immagini, ottica geometrica ed ottica fisica, diffrazione, principi di equivalenza, induzione, reciprocità. Polarizzazione, diffusione elettromagnetica da ostacoli). La teoria delle antenne composite.

**2 - Antenne:** Antenne a bocca radiante, filiformi, a cortina, logaritmiche, a fenditura, a circuito stampato ecc. Il rumore nelle antenne. Misure sulle antenne.

**3 - Propagazione:** Concetti generali sulla propagazione di onde radio in presenza di mezzi fisici reali: attenuazione, depolarizzazione, rifrazione, propagazione e diffusione entro dispersioni di particelle. L'onda di terra e la propagazione in presenza di fabbricati e vegetazione. L'onda ionosferica. Propagazione troposferica: effetti di pioggia, turbolenza e stratificazioni dell'indice di rifrazione.

**4 - Applicazioni:** Il ruolo delle antenne nei sistemi di telecomunicazione terrestri e via satellite, radar, radiodiffusione, radioaiuti alla navigazione, radiometria, telerilevamento ecc.

%

*Esercitazioni*

Vengono svolte esercitazioni numeriche e sperimentali. Viene data la possibilità di svolgere tesi o tesine sia singole che in coppia.

*Modalità d'esame*

L'esame consta in una prova orale. Potrà costituire elemento di giudizio anche l'esito di due prove scritte effettuate durante lo svolgimento del corso.

*Libri consigliati*

Sono disponibili dispense per l'intero corso e per le esercitazioni. Chi tuttavia avesse desiderio di approfondire qualche argomento può consultare i seguenti testi:

Collin-Zucker: *Antenna theory*, McGraw-Hill.

Jasik: *Antenna engineering handbook*, McGraw-Hill.

Kraus: *Antennas*, McGraw-Hill.

Weeks: *Antenna engineering*, McGraw-Hill.

Picquenard: *Radiowave propagation*, MacMillan Bath, 1974.

E. Damosso, L. Stola: *Radiopropagazione*, Centro Documentazione SSGRR, 1992

G. Brussaard, P.A. Watson: *Atmospheric modelling and millimetre wave propagation*, Chapman & Hall, 1992

**ARCHITETTURA E COMPOSIZIONE ARCHITETTONICA****AJ0010****Prof. Mario BRUNATI***Programma d'esame*

Il corso tende ad individuare nel processo architettonico, inteso come sintesi creativa e globale, una lettura metodologica delle varie componenti in esso presenti (spaziali, sociali, tecnologiche, storiche, ambientali, materiche ecc.) e legate ad una realtà territoriale.

Diviso in due momenti, teorico e pratico, tra loro strettamente correlati, il corso ha nel primo (lezioni ex cattedra) una serie di punti di riferimento alle realizzazioni contemporanee, architetture colte e d architetture spontanee, utili alla stesura del tema progettuale oggetto delle esercitazioni.

Alcune lezioni e seminari tratteranno poi problemi specifici previsti nell'anno.

*Esercitazioni.*

Il tema dell'anno accademico 96-97, nel più vasto ambito del rapporto architettura, spazi verdi e strutture culturali della città, sarà la progettazioni di una biblioteca.

Su una precisa localizzazione indicata dalla docenza si dovrà affrontare il tema della biblioteca attraverso una serie di tavole che ne specifichino gli aspetti ambientali, spaziali distributivi e tecnologici. Saranno richieste tavole in scala 1/2000 e 1/1000 di riferimento generale, planimetrie in scala 1/500 e piante in scala 1/200 come progetto di massima. Le tavole di progetto esecutivo (piante alzati e sezioni significative) saranno in scala 1/100 (eventualmente per alcune zone saranno in scala 1/50).

Gli elementi caratterizzanti del progetto verranno maggiormente approfonditi e disegnati nelle scale più opportune.

Qui allegati sono gli standards e le principali dimensioni dell'intervento: la quantità dei testi, delle riviste, ecc. conservati; il numero e la qualifica del personale; l'elenco dei servizi richiesti e tutti i principali dati necessari alla stesura del progetto.

Si richiedono inoltre degli schizzi prospettici e una breve relazione sui sistemi costruttivi, gli impianti e sui materiali usati.

Gli allievi saranno divisi in squadre e elaboreranno il progetto in gruppi di due o tre persone seguiti dagli assistenti.

*Modalità d'esame.*

L'esame consisterà in una discussione sul progetto elaborato durante l'anno allargata ai temi affrontati nelle lezioni teoriche e nei seminari.

*Bibliografia.*

Si indica qui solo una bibliografia generale sui temi teorici della progettazione. Una più precisa bibliografia verrà consigliata nel corso delle lezioni mentre la specifica bibliografia sui temi delle biblioteche è qui di seguito allegata.

W. Gropius: *Architettura integrata*. Milano 1963.

G.C. Argani *Progettazione Voce della Enciclopedia Universale dell'arte*. Venezia 1963.

J.C. Jones, D.G. Thomley: *La metodologia del progetto*. Padova 1967.

G. Susani a cura di: *Scienza e progetto*. Padova 1967.

M. Asimow: *I principi di progettazione*. Padova 1968.

S.A. Gregory a cura di: *Progettazione razionale*. Padova 1970.

C. Norberg Schulz: *Intenzioni in architettura*. Roma 1977.

G. Caniggia, G.L. Maffei: *Composizione architettonica e tipologia edilizia*. Padova 1979.

F. Calvo: *Progetto. Voce dell'Enciclopedia Einaudi*. Torino 1980.

E. Gentili Tedeschi: *I componenti della progettazione*. Milano 1982.

Mario Brunati: *Disegno - Architettura*. Bologna 1992.

**ARCHITETTURA TECNICA I****AJ0012**

(per allievi di Ingegneria Civile indirizzi non ergotecnici)

**Prof. Giovanni SIMONIS**

*Programma d'esame*

Le lezioni sono organizzate nei seguenti argomenti:

- 1) **introduzione (ruolo dell'ingegnere civile idraulico, geotecnico, strutturista e trasportista in relazione alla architettura tecnica)**
- 2) **premesse (legislazione nazionale, regionale, provinciale; normative; cantiere)**
- 3) **sistema funzionale-distributivo**
- 4) **sistema strutturale (cenni su sistemi a murature portanti, a setti portanti, a tunnel, a ossatura)**
- 5) **rapporto sistema distributivo-sistema strutturale**
- 6) **sistema impiantistico (cenni)**
- 7) **rapporto sistema distributivo - sistema impiantistico**
- 8) **sistemi di chiusura esterni (verticali fissi e mobili, orizzontali contro terra, coperture)**
- 9) **partizioni interne (verticali fisse e mobili, orizzontali)**
- 10) **sistemi di collegamento verticale (scale, ascensori).**

I sistemi di chiusura esterni, le partizioni interne e i sistemi di collegamento verticale vengono esaminati attraverso l'individuazione e la verifica delle relative problematiche: tenuta strutturale, tenuta all'acqua, controllo passaggio persone, controllo aria, controllo luminoso, controllo termico, controllo acustico, controllo vapore, condensa, modalità costruttive-montaggio, durata, manutenibilità, flessibilità, coerenza tecnologica, coerenza formale.

### *Esercitazioni*

Nel corso delle esercitazioni si sviluppa con gli allievi l'esperienza completa della progettazione di un semplice edificio, dalla individuazione dei requisiti architettonici, distributivi e tecnologici, alla verifica delle prestazioni complessive e dei singoli dettagli costruttivi.

### *Modalità d'esame*

L'esame consisterà in una prova orale. Il completo e positivo svolgimento degli elaborati di esercitazione sono condizione indispensabile per l'ammissione all'esame.

### *Libri consigliati*

Nello svolgimento delle lezioni verrà proposta una attenta valutazione critica dei documenti disponibili. I libri e le pubblicazioni qui di seguito elencati non vanno quindi intesi come libri di testo specifici ma come supporto necessario ma non sufficiente alla redazione del progetto edilizio.

Nelle lezioni si farà riferimento in particolare a materiale documentario, costituito da riviste, libri, documenti normativi e di informazione tecnica, norme tecniche degli enti unificatori (in particolare norme UNI italiane, DIN tedesche, DTU francesi), e ai volumi raccolti per argomenti disponibili presso la biblioteca del DISET.

Per l'individuazione delle principali problematiche legislative si consiglierà l'esame di pubblicazioni disponibili presso varie case editrici (per esempio Pirola editore, Milano) delle più importanti leggi riguardanti l'edilizia: norme igienico sanitarie, legge 13 per i disabili, norme dei vigili del fuoco, norme per il contenimento energetico legge 373 ora 10. Inoltre è necessaria la consultazione del Regolamento edilizio di un comune (per esempio il comune di Milano).

Per la corretta comprensione delle fasi costruttive e la individuazioni delle "voci" che concorrono alla realizzazione dell'edificio si consiglierà l'utilizzo di un listino prezzi delle opere edili, per esempio il Listino della Camera di commercio della provincia di Milano (ai fini didattici sono utilizzabili anche vecchie edizioni con i prezzi non aggiornati).

Inoltre, in particolare per la corretta elaborazione dei temi delle esercitazioni, anche dal punto di vista della loro rappresentazione grafica, si consiglierà la consultazione dei seguenti libri e manuali:

Autori vari: *Il manuale dell'architetto*, ed. Hoepli, Milano.

Autori vari: *Il manuale dell'ingegnere*, ed. Hoepli, Milano.

Autori vari: *Manuale di progettazione edilizia* (in più volumi), ed. Hoepli, Milano.

E. Mandolesi: *Edilizia* (in più volumi), ed. UTET, Torino.

E. Neufert: *Enciclopedia pratica per progettare e costruire*, ed. Hoepli, Milano.

M. Zaffagnini (a cura): *Progettare nel processo edilizio*, ed. L. Parma, Bologna.

E. Zambelli (a cura): *Sistema edilizio residenziale*, ed. F. Angeli, Milano.

## **ARCHITETTURA TECNICA I**

(per allievi di Ingegneria Edile)

**Prof. Sergio CROCE**

**AJ0011**

### *Programma d'esame*

L'insegnamento si prefigge lo scopo di avviare gli studenti alla progettazione, attraverso una conoscenza critica del sistema tecnologico e dei fattori che maggiormente incidono sulla qualità edili-

zia, in rapporto ai contesti umani, ambientali, tecnologico prestazionali, produttivi, manutentivi, gestionali.

**A) Il sistema tecnologico edilizio come strumento per il controllo delle condizioni ambientali.**

1. L'ambiente esterno come sistema sollecitante: fattori atmosferici, termici, luminosi, acustici.
2. L'ambiente umano come sistema delle esigenze.
3. Il sistema tecnologico come sistema delle prestazioni e di mediazione tra l'ambiente esterno e quello interno.

**B) La progettazione del sistema tecnologico (le prestazioni al tempo zero).** 1. Definizione organizzata degli obiettivi progettuali: il programma delle prestazioni ambientali. 2. La trasposizione delle prestazioni ambientali in prestazioni tecnologiche per la messa a punto del programma prestazionale tecnologico. 3. Le opzioni funzionali per la messa a punto del sistema tecnologico: i modelli funzionali. 4. La traduzione dei modelli funzionali in soluzioni tecniche. 5. Le verifiche prestazionali (tecnologiche e ambientali) delle soluzioni tecniche e del sistema tecnologico.

**C) La progettazione del sistema tecnologico per il controllo della qualità nel tempo.** 1. L'ambiente esterno: i dati al contorno per l'analisi del sistema tecnologico in rapporto a fattori di durabilità. 2. Fenomeni singolari ed interattivi connessi potenzialmente al decadimento delle prestazioni: agenti (esterni ed interni), azioni, effetti. 3. Criteri di analisi dell'affidabilità di soluzioni tecniche.

**D) Fondamenti di patologia edilizia.** 1. Degrado naturale e degrado patologico. 2. Metodologie di rilevazione e di diagnosi. 3. Tecniche di intervento.

*Esercitazioni*

Le teorizzazioni assunte come base delle lezioni sono applicate alle esercitazioni con specifiche elaborazioni progettuali da parte della squadra di esercitazione a cui ogni studente dovrà regolarmente iscriversi all'inizio dell'anno. Tutti gli elaborati di progetto richiesti devono essere definiti, in aula, da ogni singolo studente sotto la guida del docente esercitatore preposto alla squadra cui lo stesso studente s'è iscritto. Il completo e positivo svolgimento degli elaborati di progetto sono condizione indispensabile per l'ammissione all'esame.

*Modalità d'esame*

L'esame consisterà in una prova orale che, pur partendo dal lavoro presentato, verterà sulle tematiche e sugli approfondimenti sviluppati nel corso di lezioni. Per il superamento dell'esame non quindi sufficiente una buona valutazione del lavoro progettuale sviluppato durante l'anno.

*Libri consigliati*

Nello svolgimento del corso si farà riferimento ad un vasto materiale documentario, raccolto ordinatamente in più volumi, disponibili presso la biblioteca del Dipartimento. Oltre a ciò si indicano alcuni testi di carattere metodologico e tecnico particolarmente raccomandati.

S. Croce, A. Lucchini, P. Boltri: *Progettare con il gesso*, ed. Berna Editrice, 1993.

S. Croce, *Innovazione tecnologica, architettura e clima, Patologia edilizia: prevenzione e recupero*, in *Manuale di progettazione edilizia*, Volume 3, ed. HOEPLI, Milano, 1994.

S. Croce, V. Galimberti: *Impermeabilizzazione di coperture interrato*, ed. Pirola, 1992.

S. Croce, R. Pizzi: *Sistemi di pavimentazione*, ed. CLUP, 1984.

U. Szokolay: *Environmental Science handbook*, ed. The Construction Press, 1980.

J.M. Ficht: *La progettazione ambientale*, Franco Muzzio e C. editore, 1980.  
 E. Alien: *Come funzionano gli edifici*, ed. Dedalo, 1982.  
 B.J. Smith: *Acoustics and noise control*, ed. Longman, 1985.  
 P. Marsh: *La tenuta all'aria e all'acqua*, ed. BE-MA, 1979.  
 ICIE: *Patologie in edilizia*, BE-MA, 1981.

Come riferimento generale per il corso di Architettura Tecnica si consiglia la consultazione dell'opera in più volumi *Manuale di progettazione edilizia*, ed. HOEPLI, Milano, 1993 e seguenti.

## ARCHITETTURA TECNICA II

AJ0106

(per allievi di Ingegneria Edile, (pre+cos)

**Prof. Giuseppe TURCHINI**

### *Programma d'esame*

**0** - L'insegnamento si prefigge di sviluppare una conoscenza approfondita e critica della produzione edilizia e una capacità progettuale specifica in relazione alla garanzia della qualità nella progettazione tecnologica di sistemi edilizi di procedimenti costruttivi, di componenti e di prodotti industriali.

#### **1 - La produzione e il mercato dei prodotti industriali.**

- Analisi del livello di industrializzazione dei procedimenti costruttivi in funzione della domanda e delle richieste del mercato;
- Il mercato dei prodotti industriali in edilizia; analisi storica dei modelli di industrializzazione a partire dal secondo dopoguerra;
- Aspetti qualitativi e quantitativi della domanda; Le tendenze attuali del mercato in vista del mercato unico europeo. Normativa e strumenti di controllo delle qualità nel progetto, nel processo realizzativo e nei prodotti.

#### **2 - Progettazione tecnologica.**

- Le problematiche caratteristiche: strategie e tecniche di progettazione per la qualità;
- Qualità e qualificazione del progetto: aspetti funzionali spaziali, aspetti fisico ambientali, aspetti tecnologici;
- Strumenti di progettazione: analisi dei requisiti e delle prestazioni caratterizzanti Unità spaziali e Unità tecnologiche; tecniche decisionali per la formulazione di ipotesi di soluzione; tecniche di verifica, sviluppo e comunicazione;
- Progettazione di subsistemi e di componenti sulla base di quanto sopra e di studi approfonditi su tecnologie produttive edilizie note e innovative.

#### **3 - Integrazione di subsistemi e di componenti.**

- Le condizioni di scelta dei prodotti industriali poste dall'obiettivo di garanzia della qualità e dall'approccio per prestazioni;
- Integrazione nel progetto generale dell'organismo edilizio dei subsistemi e dei componenti per il completamento dell'iter progettuale. Integrazione fisica, dimensionale, funzionale e operativa.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni, per le quali si prevede l'organizzazione degli studenti in squadre di progettazione, saranno dedicate allo sviluppo del progetto di un sistema edilizio di notevole complessità funzionale e tecnologica attraverso la definizione progettuale di un edificio tipo e delle tecnologie realiz-

zative descritte fino al livello di dettaglio costruttivo. La progettazione sarà accompagnata dalla elaborazione di verifiche sui livelli qualitativi ottenibili e da relazioni giustificative delle scelte tecnologiche effettuate. Il progetto elaborato potrà, nel suo insieme, diventare la base del progetto di laurea.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consisterà in una prova orale. Lo svolgimento delle fasi progettuali previste nelle esercitazioni, con la produzione di elaborati di progetti completi, è condizione per l'ammissione all'esame.

#### *Libri consigliati*

Nello svolgimento del corso sarà segnalato un ampio materiale documentario, costituito da pubblicazioni specifiche, da documenti tecnici normativi e da documenti di informazione tecnica industriale.

Oltre a ciò si indicano alcuni testi di carattere metodologico e tecnico particolarmente raccomandati.

M. Zaffagnini (a cura) - *Progettare nel Processo Edilizio*, ed. L. Parma, Bologna, 1981.

E. Zambelli (a cura) - *Sistema Edilizio Residenziale*, ed. F. Angeli, Milano, 1981.

AA.VV. - *Normativa Tecnica e Industrializzazione dell'Edilizia*, ed. L. Parma, Bologna, 1979.

M. Costantini, A. Norsa - *Prospettive di politica tecnica in Edilizia*, ed. F. Angeli, Milano, 1985.

Come riferimento generale per Architettura tecnica si consiglia la consultazione dell'opera in più volumi *Edilizia* di Enrico Mandolesi, ed. UTET, Torino, 1978-83.

P.N. Maggi, A. Gottfried, L. Mozza - *Qualità tecnologica dei prodotti complessi per l'edilizia* - QUADERNO DISET n. 1 - ed. Progetto Leonardo - Bologna 1992.

B. Doniotti, P.N. Maggi - *Valutazione della qualità tecnologica caratteristica dei prodotti complessi per l'edilizia* - QUADERNO DISET n. 2 - ed. Progetto Leonardo - Bologna 1992.

## **ARCHITETTURA TECNICA II**

**000834**

(per allievi di Ingegneria Edile (pru+rec))

**Prof. Mario BASSAN**

#### *Programma d'esame*

Il sistema edilizio complesso inteso quale contenitore di funzioni. Metodologie di analisi e di sintesi dei problemi concernenti la definizione dell'organismo edilizio. L'applicazione delle metodologie progettuali per l'individuazione di capacità atte a soddisfare la domanda di prestazione funzionale.

La strumentazione progettuale per il processo produttivo edilizio convenzionale ed industrializzato.

L'organismo edilizio considerato quale punto di equilibrio fra domanda di prestazione funzionale, esigenze tecnologico-organizzative e sistema normativo.

La differenziazione della domanda di prestazione funzionale in relazione alle tipologie edilizie: (edilizia residenziale, ricettiva, assistenziale, terziaria, produttiva, ecc.)

La considerazione dei ruoli del progetto alle varie scale per una visione unitaria ed integrata dello stesso in relazione al rapporto tecnologia/tipologia.

### *Esercitazioni*

Gli argomenti del programma d'esame verranno trattati applicativamente nelle esercitazioni, con elaborazioni grafiche di dettaglio e di insieme.

### *Modalità d'esame*

Il completo e positivo svolgimento degli elaborati di esercitazione è condizione per l'ammissione all'esame che sarà orale e verterà sugli argomenti trattati nelle lezioni e sulla discussione degli elaborati.

### *Libri consigliati*

Durante il corso delle lezioni e delle esercitazioni verranno indicati i riferimenti bibliografici per l'approfondimento di specifiche problematiche.

## **AZIONAMENTI ELETTRICI**

**AH0102****Prof. Renato MANIGRASSO**

### *Programma d'esame*

#### **1. Gli azionamenti elettrici come componenti per l'automazione industriale e dei sistemi di trasporto.**

1.1 I componenti degli azionamenti.

1.1.1 Gli attuatori: il campo di operatività e la modellistica dinamica delle macchine a c.c., delle macchine sincrone isotrope/anisotrope - con avvolgimento induttore a magneti permanenti, delle macchine asincrone e delle macchine a riluttanza.

1.1.2 Componenti passivi: particolarità costruttive e funzionali degli induttori, dei condensatori e dei trasformatori per gli azionamenti elettrici.

1.1.3 I convertitori: principi di modellistica delle valvole al silicio; modelli ad interruttori comandati a chopper ed inverter a tensione ed a corrente impressa. Sintesi delle forme d'onda.

1.2 Architetture di controllo in cascata degli attuatori. Controllori ad orientamento di campo e ad azione diretta.

1.3 Programmi di calcolo per la simulazione degli azionamenti elettrici: programmi di uso generale (EMTP) e dedicati.

1.4 Le applicazioni: gli azionamenti per la trazione elettrica; per le industrie siderurgiche; per le industrie cartarie; per il trattamento dei fluidi; per il sollevamento dei carichi e per le macchine utensili.

#### **2. Gli azionamenti elettropneumatici.**

2.11 componenti e la relativa modellistica.

2.2 I metodi di comando.

#### **3. Sistemi costituiti da una pluralità di azionamenti tra loro interagenti.**

3.1 Sistemi industriali e di trasporto con multiazionamenti.

3.2 Le unità per il coordinamento dei controllori: i controllori programmabili: struttura, linguaggi ed esempi applicativi.

3.3 Ausili informatici per la gestione di sistemi con multiazionamenti: i sistemi esperti.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni progettuali si riferiscono alla definizione del campo di operatività degli attuatori, alla scelta dei componenti e alla sintesi di alcuni semplici regolatori. Le esercitazioni sperimentali riguardano il comando di semplici azionamenti pneumatici e la programmazione di un PLC per il coordinamento di azionamenti elettrici e pneumatici.

### *Libri consigliati*

Dispense del corso *Azionamenti a velocità controllata per macchine sincrone ed asincrone*, Dipartimento di Elettrotecnica, Politecnico di Milano, 1986.

W. Leonhard: *Control of electrical drives*, Springer Verlag, 1985.

J. Michael Jacob: *Industrial Control Electronics*, Prentice Hall 1988.

## **BASI DI DATI**

**AG0207****Prof. Fabio A. SCHREIBER**

### *Programma d'esame*

**1. Introduzione all'organizzazione del software di base:** Funzioni del Sistema Operativo; gestione dei processi; processi concorrenti asincroni; mutua esclusione e sezioni critiche.

**2. Gestione delle risorse:** Gestione dei lavori; situazioni di stallo (Deadlock); gestione della memoria centrale (partizioni fisse e variabili); gestione della memoria virtuale (pagine e segmenti); gestione dell'unità centrale (politiche di schedulazione: FIFO, RR, SJF, ...); il sistema I/O e la gestione delle memorie di massa (file System).

**3. Introduzione ai sistemi per la gestione di basi di dati:** Le basi di dati e la loro collocazione nell'ambito delle applicazioni aziendali; modelli della realtà aziendale; l'indipendenza dei dati; gli utenti di una base di dati; linguaggi di definizione e manipolazione dei dati; struttura di un sistema di gestione di basi di dati.

**4. Modelli dei dati:** Modelli concettuali e modelli logici; i processi di astrazione; le viste di utente; Il modello *Entity-Relationship* e le sue caratteristiche. Chiavi candidate e chiavi primarie. Uso del modello E-R nella progettazione di schemi concettuali. Il modello *relazionale*. Algebra relazionale e sue operazioni. Calcolo relazionale. Linguaggi commerciali: (SQL, QBE, ...). Cenni ad altri modelli logici. Modifiche alla base di dati.

**5. Progetto di basi di dati relazionali:** Obiettivi e fasi della progettazione di una base di dati. Le diverse anomalie operative e la normalizzazione delle relazioni nel modello relazionale. Problematiche di progettazione fisica; descrizione dell'architettura del sistema; scelta delle strutture di accesso; strutture ad indici; alberi bilanciati *B<sup>+</sup>tree*; strutture casuali; funzioni di hashing e gestione delle collisioni. Valutazione e confronto tra le varie strutture. Accesso con più chiavi.

**6. Sistemi transazionali:** Il concetto di transazione; accesso concorrente e integrità dei dati; serializzazione delle richieste; granularità. Metodi di controllo della concorrenza (locking, time-stamping e ottimistici). Affidabilità: concetti fondamentali; strumenti (dump, log e checkpoint); tecniche di recovery. La sicurezza dei dati.

**7. Gestione dell'informazione non strutturata:** i sistemi di *Information Retrieval* e le banche dati.

**8. Nuove architetture.**

*Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni settimanali, nelle quali verranno sviluppati esempi attuali di quanto esposto durante le lezioni.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta e in un colloquio.

*Libri consigliati*

M. Milencovic: *Sistemi Operativi*, McGraw-Hill Italia 1990

H. F. Korth, A. Silberschatz: *Database System concepts*, 2<sup>a</sup> ediz., Me Graw Hill, 1991.

C. Francalanci, F.A. Schreiber, L. Tanca: *Progetto di dati e funzioni*, 2<sup>a</sup> ediz., Esculapio, 1994.

G. Salton: *Automatic Text Processing*, Addison Wesley 1989.

*Testi complementari*

A.S. Tanenbaum: *Operating Systems*, Prentice-Hall 1987.

R. El Masri, S. Navathe: *Fundamentals of Database Systems*, Benjamin-Cummings 1990.

C. Batini, S. Ceri, S. Navathe: *Conceptual Database Design*, Benjamin-Cummings 1991.

G. Gray, A. Reuter: *Transaction Processing*, Morgan Kaufmann 1992.

G. Salton, M.J. McGill: *Introduction to modern Information Retrieval*, McGraw-Hill 1983.

**BASI DI DATI (1/2 annualità, 1)****AG0226****Prof. Stefano CERI***Programma d'esame*

**a. Introduzione ai sistemi informativi.** Architettura e funzionalità dei sistemi per la gestione di basi di dati. Concetti di: query, update, persistenza, affidabilità, concorrenza. Confronto con la gestione dei file di un sistema operativo. Utenti di un sistema informativo e modalità di interazione con il sistema.

**b. Modelli concettuali per basi di dati.** Astrazioni di classificazione, aggregazione e generalizzazione. Il modello Entità-Relazione. Elementi del modello: entità, attributi, associazioni, gerarchie di generalizzazione, vincoli di cardinalità. Caratteristiche di uno schema dati: completezza, correttezza, leggibilità, potere espressivo, minimalità.

**c. Il modello relazionale dei dati.** Teoria relazionale: definizione di relazione, chiave, dipendenza funzionale. Algebra relazionale. Trasformazioni di equivalenza e ottimizzazione delle espressioni algebriche. Normalizzazione delle relazioni: decomposizione e sintesi. La programmazione di applicazioni relazionali. Il linguaggio SQL. Il blocco SQL. Interrogazioni nidificate. Raggruppamento e ordinamento dei dati. Istruzioni di update. Equivalenza delle interrogazioni. Viste relazionali. Gestione delle viste. Controllo dell'accesso.

**d. Richiami di tecniche di organizzazione degli archivi.** Tecniche di ricerca e di gestione e riordino dei dati con: organizzazione sequenziale, diretta, ad indice. Indici densi e sparsi. Alberi B+. Funzioni di hashing.

**e. La progettazione di applicazioni delle basi di dati.** Progetto concettuale, logico e fisico; progetto di dati e funzioni. Progetto top-down e bottom-up/integrazione di schemi. Progetto delle funzioni: il modello dataflow. Elementi del modello: processi, flussi, interfacce, archivi. Progetto inte-

grato di dati e funzioni. Il progetto logico: traduzione di schemi concettuali in schemi relazionali. Cenni al progetto fisico relazionale (scelta degli indici).

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta, che verte su tutti gli argomenti trattati nel corso.

#### *Precedenze di esame*

Fondamenti d'informatica II.

#### *Libri consigliati*

H. Korth, A. Silberschatz: *Database Systems Concepts*, Ed. 2, Me Graw Hill, 1989.

R. El Masri, S.B. Navathe: *Fundamentals of Database Systems*, Benjamin-Cummings, 1990.

C. Batini, S. Ceri. S.B. Navathe: *Conceptual Database Design, an Entity-Relationship Approach*, Benjamin-Cummings, 1991.

## **BASI DI DATI (1/2 annualità 2)**

**AG0245**

**Prof. Stefano CERI**

#### *Programma d'esame*

**a. Sistemi transazionali.** Importanza dei sistemi transazionali. Esempi di sistemi classici: sistemi finanziari, bancari, di order-entry, di prenotazione. Concetto di transazione. Proprietà di una transazione: atomicità, persistenza, serializzazione, isolamento. Affidabilità di un sistema transazionale. Gestione del giornale. Protocolli di recovery. Controllo di concorrenza. Locking. Deadlock e sua gestione: rilevamento, prevenzione, time-out. Cenni ad altre tecniche per il controllo di concorrenza.

**b. Organizzazione interna di un sistema per la gestione di base di dati.** Catalogo e dizionario dati. Ottimizzazione delle interrogazioni. Compilazione ed interpretazione. Profili statistici e stima dei costi di esecuzione delle applicazioni. Organizzazione fisica delle basi di dati. Tecniche per la gestione dell'I/O (buffer management). Ambienti di sviluppo per la costruzione di applicazioni relazionali. Cenni sui sistemi commerciali e sugli standard industriali.

**c. Basi di dati distribuite.** Scenari di applicazione. Frammentazione e allocazione dei dati. Distribuzione e ottimizzazione delle interrogazioni. Transazioni distribuite. Architettura client-server. Commit a due fasi. Controllo di concorrenza. Gestione di dati replicati. Cenni sui sistemi commerciali e sugli standard industriali. Descrizione di applicazioni avanzate.

**d. Cenni ai modelli e sistemi gerarchici e reticolari.** Linguaggi per la definizione e manipolazione dei dati. Conversione dai modelli gerarchico e reticolare al modello relazionale (reverse engineering).

**e. Evoluzione delle basi di dati.** Rassegna delle principali tipologie dei sistemi di gestione di basi di dati di nuova concezione e delle loro applicazioni:

1. Basi di dati orientate ad oggetti: modello dei dati, concetto di tipo e classe, metodi, linguaggi per la programmazione di basi di dati a oggetti (DBPL).
2. Basi di dati deduttive: descrizione dei linguaggi di interrogazione (cenni).
3. Basi di dati attive: descrizione di regole ECA (evento - condizione - azione), triggers e loro modalità di valutazione, applicazione delle basi di dati attive.
4. Nuove applicazioni per le basi di dati: basi di dati per l'ingegneria, per il CAD-CAM, per il progetto di applicazioni software.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale, che verte su tutti gli argomenti trattati nel corso.

*Precedenze d'esame*

Basi di dati (1/2 annualità), 1

Lo studente può sostenere nello stesso appello l'esame delle semiannualità 1 e 2, ricevendo un unico voto in trentesimi.

*Libri consigliati:*

H. Korth, A. Silberschatz: *Database Systems Concepts*, Ed. 2, McGraw-Hill, 1989.

R. El Masri, S.B. Navathe: *Fundamentals of Database Systems*, Benjamin-Cummings, 1990.

J. Gray, A. Reuter: *Transaction Processing: Concepts and Techniques*, Morgan-Kaufmann, 1992.

**BIOINGEGNERIA DEI SISTEMI FISIOLGICI I**

**AA0012**

**Proff. Emanuele BIONDI, Carlo FRIGO**

*Programma d'esame*

**Parte I - Introduzione alla neurofisiologia.**

- Il sistema nervoso.
- 1 neuroni e le sinapsi.
- 1 recettori.
- Reti neuroniche.

**Parte II - Problemi generali riguardanti i sistemi sensoriali.**

- Psicofisica.
- Elaborazione di segnali.

**Parte III - I sistemi sensoriali.**

- Il sistema uditivo.
- Il sistema visivo.
- 1 sistemi cutanei.

(rispetto al contenuto delle dispense, durante il corso non si trattano i sistemi chimici ed il sistema vestibolare).

**Parte IV - Protesi ed ausili.**

- Per non vedenti.
- Per non udenti.

*Libri consigliati*

E. Biondi: *Bioingegneria dei sistemi neurosensoriali*, Ed. CLUP.

E. Biondi: *La Bioingegneria*, Ed. La Nuova Italia Scientifica.

*Precedenze di esame*

Lo studente deve conoscere le basi della trasformata di Laplace, dei sistemi stocastici e dalla rappresentazione dei sistemi mediante schemi a blocchi.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale.

**BIOINGEGNERIA DEI SISTEMI FISIOLGICI II****AA0014****Prof. Giorgio SANTAMBROGIO***Programma d'esame***PARTE I (Motorio).****- Organizzazione del sistema motorio -**

Descrizione dello schema di controllo. Formazione del programma motorio. Trasmissione dell'informazione. Attuazione ed attività riflessa.

**- Modelli Funzionali -**

Generalità della modellazione "total-body". Approccio alla modellazione locale: modelli a vincolo geometrico, modelli articolari, modelli muscolari.

**- Catena di Rilevazione Strumentale ed Unità di Base -**

Schema generale, principali caratteristiche e problematiche di interfacciamento di uno strumento di misura di variabili motorie. Unità di rilevazione, di condizionamento e di acquisizione del segnale. Unità di trattamento e di restituzione dei dati.

**- Catena di Elaborazione e Metodiche di Base -**

Schema generale di elaborazione dei dati motori e principali problematiche per l'estrazione dell'informazione. Metodi di stima spettrale e di filtraggio. Metodi di interpolazione ed approssimazione.

**- Misure Morfologiche -**

Principi e problematiche di rilevazione di mappe anatomiche superficiali. Sistemi ottici ad interferenza. Sistemi opto-elettronici a scansione mono e bidimensionale. Metodi di elaborazione dei dati e di ricostruzione topografica.

**- Misure Elettromiografiche -**

Generazione del segnale mioelettrico motorio. Elettrodi di superficie, ad ago, a filo. Elettromiografi multicanale, a fili, telemetrici, a fibre ottiche. Elaborazione ed analisi dei dati nel dominio del tempo e delle frequenze.

**- Misure di Reazioni Esterne -**

Caratteristiche e tipologie delle forze di interazione motoria con l'esterno. Principi di trasduzione e sensori. Dispositivi sensorizzati fissi e portatili. Unità di trattamento del segnale. Elaborazione ed analisi dei dati in forma integrata ed in forma distribuita.

**- Misure Cinematiche -**

Specifiche protocollari ed interfaccia ambiente-sistema di rilevazione. Sensori optoelettronici. Processori di segnale. Tecniche di riconoscimento: a soglia, a forma e dimensioni. Calcolo centroidi ed identificazione disturbi. Classificazione ed inseguimento automatico. Ricostruzione stereo-foto-grammetrica. Calibrazione bidimensionale e spaziale. Elaborazione ed analisi dei dati nel dominio del tempo e delle frequenze.

**- Metodi di Elaborazione Multifattoriale -**

Problematiche e condizioni di comparabilità e di stabilità dei dati. Normalizzazione. Stima ed estrazione stratificata di caratteristiche motorie. Indici di comparazione mono e multi-variabile. Comparazione multifattoriale con reti neurali.

**- Applicazioni -**

Esempi di valutazione motoria-funzionale. Cenni di progettazione e valutazione di protesi.

**PARTE II (Cinetica Cellulare).****- Introduzione ai problemi di cinetica cellulare -**

L'organizzazione cellulare. Modelli matematici di colture cellulari. Scelta delle variabili. Caratteristiche dei diversi tipi di modelli.

**- Esempi -**

Modelli segregati e strutturati: modello di età e massa. Modello di età. Modello di massa. Modelli non segregati e strutturati. Modelli non strutturati: modello segregato. Modello non segregato di Monod. Modelli del ciclo cellulare: applicazioni a micro-organismi.

*Esercitazioni*

Nell'ambito del corso verranno tenute esercitazioni a carattere sia progettuale che sperimentale sui vari argomenti trattati a lezione.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale inerente gli argomenti in programma.

*Libri consigliati*

In fase di preparazione la dispensa: *Locomozione e Postura: Tecnologie per l'Analisi Strumentale e Metodi per l'Elaborazione dei Dati*, che includerà gran parte degli argomenti trattati nel corso:

J.G. Webster: *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*, J. Wiley & Sons Inc., 1988.

A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer: *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall Inc., 1975.

D. A. Winter: *Biomechanics and motor control of human movement*, J. Wiley & Sons Inc., 1990.

J.E. Desmedt: *Computer-Aided Electromyography and Expert Systems*, Elsevier Publish., 1989.

J.M. Winter, S.L.-Y. Woo: *Multiple Muscle Systems*, Springer - Verlag Publish., 1990

T. Leo, G. Rizzolatti: *Bioingegneria della Riabilitazione*, Patron Editore, 1987.

F. Beltrame, M. Grattarola, L. Mariani: *Bioingegneria Cellulare e Molecolare*, Patron Editore, 1989.

E. R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessell: *Principles of Neural Science*, Elsevier Science Publish., 1991.

**BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE E PROTESI****AA0015****Prof. Marcello CRIVELLINI***Programma d'esame*

**1. Sistema di controllo della postura.** Cenni di anatomia e fisiologia del sistema - archi riflessi - organizzazione del sistema e suoi componenti - schema a blocchi del sistema - condizioni anomale di funzionamento. I muscoli scheletrici: cenni di anatomia e di neurofisiologia - energetica e caratteristiche esterne - sistema di controllo - unità motrici - reclutamento - condizioni anomale di funzionamento - modelli. Fusso muscolare: anatomia e fisiologia - parametri caratteristici - risposta alla rampa - risposta in frequenza - modelli lineari e non lineari del fusso muscolare.

**2. Rachide.** Anatomia e fisiologia del sistema - unità funzionale - biomeccanica del rachide e suo modello - il problema scoliosi - terapie in uso - analisi del sistema e nuove procedure diagnostiche e terapeutiche - disco intervertebrale - patologie - modelli e simulazioni - controllo di funzionalità durante interventi di stabilizzazione vertebrale.

**3. Stimolazione elettrica.** Principi generali - tecniche di stimolazione - classificazione - impiego in riabilitazione - soglie di contrazione - modelli - assuefazione a stimolazione elettrica. La Stimolazione elettrica funzionale - il controllo mioelettrico - esopotesi mioelettriche - altre applicazioni. La Stimolazione elettrica per il potenziamento muscolare - potenziamento e riabilitazione - metodica e parametri ottimi di stimolazione - stimolatori - potenziamento del gastrocnemio - stimolazione elettrica e pazienti anziani - stimolazione elettrica nella terapia della scoliosi, della spondilite anchilosante, della artrite cronica giovanile, del piede piatto - altre applicazioni.

**4. Valutazione di funzionalità, problemi posturali e metodi riabilitativi.** Postura dell'anziano - rischio di caduta. Assetto posturale e movimento in gravidanza - variazioni temporanee e permanenti - gravidanza e patologie della colonna vertebrale. Stress mentale e movimento. Endoprotesi di ginocchio. Metodi riabilitativi non tradizionali - Altri problemi posturali.

**5. Spasticità.** Definizione - modelli - metodi riabilitativi - valutazioni cliniche e funzionali - analisi del passo.

**6. Servizio sanitario nazionale.** Cenni storici - il servizio sanitario nazionale come sistema - strutture e prestazioni - spesa sanitaria - popolazione e popolazione sanitaria equivalente - modelli previsionali - problemi di organizzazione sanitaria - aziende ospedaliere - il sistema di rimborso a prestazione - controllo di gestione.

#### *Esercitazioni*

Durante l'anno saranno svolte esercitazioni teoriche e sperimentali.

#### *Libri consigliati*

M. Crivellini, L. Divieti: *Dispense del corso*.

M. Crivellini, L. Divieti: *Servizio Sanitario Nazionale e domanda sanitaria* - Soc. Editrice Esculapio, 1993.

M. Crivellini, L. Divieti: *Stimolazione elettrica e potenziamento muscolare* - Soc. Editrice Esculapio, 1994.

M. Crivellini: *Soglie di Stimolazione* - Soc. Editrice Esculapio, (di prossima pubblicazione).

M. Crivellini: *Il Rachide* - Soc. Editrice Esculapio, (di prossima pubblicazione).

V.B. Mountcastle: *Fisiologia Medica* Voi. I, Voi. II - Piccin Editore.

## **BIOMACCHINE**

**AA0002**

**Prof. Roberto FUMERÒ**

#### *Programma d'esame*

**1 - Introduzione** - Definizione del campo di indagine della bioingegneria, e di applicazione delle biomacchine. Componenti caratteristici di un sistema vivente: concetti di morfologia strutturale e funzionale; interazioni con il mondo esterno. Cenni di anatomia umana e di fisiologia, con particolare riferimento al sistema cardiovascolare.

**2 - Modellistica ed emodinamica** - La regolazione del sistema cardiovascolare e l'interazione con le biomacchine. Il modello Guyton. Il cuore naturale come macchina: definizione del suo ciclo di funzionamento e definizione del rendimento. Reologia del sangue ed emodinamica del microcircolo e dei grandi vasi.

**3 - Le macchine nell'impiego medico e chirurgico** - **A)** Le macchine negli impianti ospedalieri, con particolare riferimento ai problemi di condizionamento e di protezione biologica dell'ambiente. **B)** Le macchine di uso clinico e terapeutico negli ospedali, con particolare riferimento a quelle usate in sala operatoria e nei reparti di rianimazione e di emodialisi: **1)** respiratori e macchine per anestesia; **2)** macchine per la circolazione extracorporea; **3)** dispositivi per l'assistenza alla circolazione del sangue in fase di recupero del paziente, tecniche e metodiche di rapido intervento; **4)** macchine impiegate nella sostituzione delle funzioni renali. **C)** Gli organi artificiali: **1)** definizione e criteri generali di progettazione di un organo artificiale; **2)** i materiali utilizzati nella costruzione; **3)** interazioni con il corpo umano e problemi di tollerabilità, emolisi, coagulazione intravasale, ecc.; **4)** problematica e descrizione dei principali tipi di organi artificiali con particolare riferimento a: - il cuore artificiale e gli organi artificiali ausiliari per la circolazione del sangue (assist devices, protesi valvolari, pace-

makers, ecc.); - il polmone artificiale; - il rene artificiale. 5) cenni sugli altri organi interni artificiali, gli arti artificiali, gli organi di senso artificiali.

**4 - Energetica delle biomacchine** - Problemi connessi con la generazione e la trasformazione di energia per l'azionamento di organi artificiali: 1) fonti di energia all'esterno e all'interno del corpo umano; 2) fonti di energia meccanica, chimica, elettrochimica, nucleare, biologica; 3) elaborazione dell'energia: cicli termodinamici, dispositivi piezoelettrici, termoelettrici, termoionici, ecc. 4) problemi di dimensionamento e di miniaturizzazione; 5) problemi di indipendenza dalla direzione della forza di gravità con particolare riguardo al trattamento di fluidi bifase; 6) problemi di smaltimento del calore, scambiatori termici in flusso pulsante, ecc.

#### *Esercitazioni*

Consisteranno in prove teoriche e pratiche di laboratorio e visite ad ospedali.

#### *Libri consigliati*

*Energetica del cuore artificiale*, CLUP 1975.

*Il cuore artificiale e la circolazione assistita*, ed. Recordati, 1968.

*Bioingegneria del sistema cardiovascolare*, PATRON, 1987.

*Bioingegneria degli organi artificiali*, PATRON, 1990.

## **BIOMECCANICA**

**AZ0005**

**Prof. Arrigo VALLATTA**

#### *Programma d'esame*

- La biomeccanica - Cenni storici

- il Sistema muscolo scheletrico

- I tessuti che compongono il corpo umano:

    l'osso - struttura dell'osso, caratteristiche meccaniche, morfologia

    la cartilagine articolare

    i legamenti

    i tendini

    i muscoli - vari tipi di, struttura, modalità di azione, morfologia

- Le articolazioni

    funzioni

    vari tipi

    classificazione meccanica

- Le catene cinematiche nel corpo umano

    gli arti superiore e inferiore

    la mano

    il piede

    il rachide

    il capo

- Meccanica della respirazione

- L'antropometria

- LO STUDIO DEL MOVIMENTO

-1 sistemi di riferimento

le matrici di rotazione e di posizione  
sistemi di coordinate di Eulero e Cardano  
passaggio da un sistema ad un altro

- Le matrici di velocità e accelerazione

- Il problema cinematico diretto e inverso

- Le forze in gioco - Azioni muscolari e coppie alle articolazioni

- Matrici di massa e di forza

- Il problema dinamico, diretto e inverso

-1 modelli

sistemi staticamente determinati

sistemi staticamente indeterminati: incognite ed equazioni. Metodi di soluzione. I criteri di merito.

- La misura del movimento e dell'azione muscolare

- Lo studio del passo

- Cenni di elettromiografia

- Considerazioni energetiche. La produzione e la trasmissione dell'energia nel corpo

- Biomeccanica ortopedica

- Le protesi d'anca e di ginocchio

- Placche e lameplacche, chiodi

-1 fissatori esterni

- Implantologia dentale

- Protesi e arti artificiali

- Interventi riabilitativi ortopedici

- La riabilitazione fisiatrica

*Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni teoriche, esercitazioni esemplificative della strumentazione usata per lo studio e la ricerca su protesi, analisi del movimento, attrezzature sportive. Verranno fatte visite di studio a centri di ricerca e industrie del settore.

*Libri consigliati*

J. A. Kapandji: *Fisiologia Articolare*, 3 Volumi, ed. DEMI.

B. Nigg e W. Herzog: *Biomechanics*, J. Wiley & Sons.

F. Pauwels: *Biomechanics of the locomotor apparatus*, Springer-Verlag.

N. P. Conchran: *A primer of orthopaedic biomechanics*, Churchill Livingstone.

D. Winter: *Biomechanics and motor control of human movement*, J. Wiley & Sons.

A. Seireg, R. Arvikar: *Biomechanical Analysis of the musculoskeletal structure for medicine and sports*

V.C. Mow, W.C. Hayes: *Basic Orthopaedic Biomechanics*

Durante il corso sarà distribuito materiale didattico (Figure, Tabelle, Diagrammi, ecc.)

**CALCOLATORI ELETTRONICI (1/2 annualità, 1)**  
**Prof. Renato STEFANELLI**

**AG0246**

*Programma d'esame*

Obiettivo del corso è lo studio del progetto logico di circuiti integrati.

**Sintesi di reti combinatorie:** minimizzazione, realizzazione integrata, realizzazione con circuiti standard.

**Reti sequenziali:** classificazione. Definizione del diagramma degli stati e sua minimizzazione. Assegnamento degli stati. Implementazione circuitale.

**Cenni sulla logica automatica.**

**Esempi di un progetto logico e simulazione di circuiti digitali.**

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in un esame scritto e in un progetto obbligatorio con relativa discussione orale.

*Libri consigliati*

A.J. McCluskey: *Logic Design principles*, Prentice Hall.

F. Luccio, L. Pagli: *Reti Logiche e Calcolatore*, Bollati Boringhieri.

Z. Kohavi: *Switching and Finite Automata Theory*, McGraw-Hill.

**CALCOLATORI ELETTRONICI (1/2 annualità, 2)**  
**Prof. Renato STEFANELLI**

**AG0247**

*Programma d'esame*

Obiettivo del corso è lo studio di architetture di calcolatori avanzate.

- Approfondimenti sull'architettura del calcolatore: unità centrale, unità di controllo, memoria, I/O.
- Aritmetica del calcolatore: floating point, circuiti per somma, moltiplicazione, divisione.
- Pipelining: principi di funzionamento, progetto di processori pipeline, esempi.
- Processori vettoriali: architettura, cenni di ottimizzazione delle prestazioni.
- Architetture RISC: principi, architettura, esempi.
- Architetture parallele: classificazione, array, SIMD, MIMD.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

*Libri consigliati*

K. Hwang, F.A. Briggs: *Computer Architecture and Parallel Processing*, McGraw-Hill.

J.L. Hennessy, D.A. Patterson: *Computer Architecture: a Quantitative Approach*, (ed. italiana Zanichelli).

M. Mezzalama, N. Montefiisco, P. Prinetto: *Aritmetica degli elaboratori e codifica dell'informazione*, UTET.

**CALCOLO AUTOMATICO DELLE STRUTTURE**  
**Prof. Pier Giorgio MALERBA****AN0101***Programma d'esame*

**1 - Aspetti introduttivi** - Posizione del Calcolo Automatico nel contesto strutturale. Metodi di analisi e mezzi di calcolo. Dall'impostazione manuale dei problemi alle tecniche matriciali. Procedimenti generali e tecniche risolutive finalizzate.

**2 - Analisi matriciale delle strutture a telaio** - Richiami di aspetti teorici. Principio dei Lavori, delle Forze e degli Spostamenti Virtuali. Principio di stazionarietà e minimo dell'energia potenziale totale e dell'energia potenziale complementare. Impostazione matriciale dei metodi delle Forze, Misto e degli Spostamenti. Coefficienti e Matrici di Flessibilità e di Rigidezza e loro proprietà. La trave rettilinea a 12 gradi di libertà. Trasformazioni di coordinate. Tecniche di assemblaggio. Soluzione dei sistemi di equazioni algebriche lineari. Caratteristiche dei sistemi risolvibili problemi di elasticità. Metodi di Gauss e di Choleski. Significato meccanico del procedimento di riduzione di Gauss. Manipolazioni sul sistema di equazioni. Spostamenti impressi. Memorizzazione e soluzione a banda. Soluzione frontale. Condensazione dei gradi di libertà. Analisi per sottostrutture. Tecniche di rilascio di gradi di libertà. Controllo dei risultati ottenuti in algebra a precisione finita. Caratteristiche di condizionamento dei sistemi. Indice di condizionamento. Stima del numero di cifre significative. Metodi di controllo semplificati. (Indice di degrado dei termini diagonali, norma del determinante, lavoro dei residui).

**3 - Modellazione delle strutture a telaio** - Casi particolari: travature reticolari piane e spaziali. Telai e graticci di travi. Travi su mezzo elastico di Winkler e problemi riconducibili allo stesso modello (Tubi, grigliati a maglie ravvicinate,...). Nodi rigidi (offset). Vincoli elastici e obliqui. Carichi di natura termica. Sistema equivalente alla precompressione.

**4 - Analisi dei sistemi continui** - Metodi per la riduzione a forma algebrica delle equazioni differenziali. Ritz, Galerkin, Kantorovich. Metodi delle Differenze Finite e degli Elementi Finiti. Metodi semianalitici: metodi delle linee e delle strisce. Condizioni e modalità di convergenza ( $h$  e  $p$ ). Coordinate di area e di volume. Trasformazione isoparametriche. Integrazione numerica. Aspetti meccanici dell'integrazione ridotta. Locking. Integrazione selettiva. Interpretazione dello stato di sforzo. Tecniche di smoothing. Punti di campionamento ottimali. Elementi non conformi. Patch Test. Controllo dei risultati. Generazione automatica delle suddivisioni.

**5 - Modellazione delle strutture continue** - Elementi per l'analisi di stati piani, tridimensionali e assialsimmetrici. Elementi per l'analisi di piastre inflesse di Kirchhoff (non conformi e conformi) e di Reissner-Mindlin. Modellazione delle strutture a guscio con elementi piatti: tecniche, problemi e validità. Elementi a guscio assialsimmetrici. Elementi a striscia e a prisma finito. Impostazione di alcuni tipi di analisi ricorrenti: Travi alte, mensole tozze, diffusione della precompressione agli ancoraggi, modellazione di solai e impalcati da ponte, calcolo delle rigidezze equivalenti. Regime membranale e flessionale delle strutture a guscio, raccordi tra gusci di forma diversa, modellazione delle travi di bordo. Controllo dei risultati.

**6 - Calcolo non lineare delle strutture** - Tipi di non linearità. Metodi risolutivi e schemi operativi. Esempi introduttivi. Analisi di strutture in c.a. in regime elastoviscoso. Analisi di strutture intelaiate in c.a. in presenza di non linearità geometriche e meccaniche. Cenno a problemi più complessi.

*Esercitazioni*

Nel corso delle esercitazioni verranno trattati i seguenti argomenti: nozioni sui calcolatori, sistemi operativi, il linguaggio FORTRAN, le tecniche di programmazione dei metodi matriciali e per elementi finiti.

Sulla traccia di quanto esposto gli allievi sviluppano codici di calcolo e con essi svolgono applicazioni a problemi di accuratezza della soluzione o di analisi di elementi o sistemi strutturali.

#### *Libri consigliati*

G. Toniolo: *Analisi Strutturale con l'Elaboratore Elettronico*, Masson Italia ed.

G. Toniolo-P.G. Malerba: *Metodi di Discretizzazione dell'Analisi Strutturale*, Masson Italia ed.

AA.VV.: *Analisi per Elementi finiti: Modellazione Strutturale e controllo dei risultati*, a cura di B. Schrefler, A. Cannarozzi, *International centre for Mechanical Sciences*, CISM, Collana di Ingegneria Strutturale, No. 8

L. Cedolin: *Elementi di analisi strutturale*, Masson Italia ed.

J. S. Przemieniecki: *Theory of Matrix Structural Analysis*, McGraw-Hill, London, 1968.

K. J. Bathe: *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*, Prentice Hall, 1982

O.C. Zienkiewicz, R.L Taylor: *The Finite Element Method*, McGraw-Hill, 1991.

## **CALCOLO DELLE PROBABILITA'E STATISTICA MATEMATICA**

**000858**

**Proff. Bruno BASSAN, Carlo SGARRA**

#### *Programma d'esame*

**1. PROBABILITÀ.** Richiami di teoria degli insiemi. Spazio dei campioni, eventi, sigma-algebra degli eventi. Definizione assiomatica di probabilità. Probabilità condizionata ed indipendenza stocastica. Teorema di Bayes. Esempi ed applicazioni.

**2. VARIABILI ALEATORIE E FUNZIONI DI DISTRIBUZIONE.** Variabili discrete: funzione indicatrice di un evento (distribuzione di Bemoulli), estrazioni seguite da reimbussolamento (distribuzione binomiale e schema di Bemoulli), estrazioni senza reimbussolamento (distribuzione ipergeometrica), tempo di attesa del primo successo (distribuzione geometrica), dell'ennesimo successo (distribuzione binomiale negativa), distribuzione di Poisson. Variabili assolutamente continue e funzioni di densità: distribuzione uniforme, gaussiana, esponenziale (tempo di attesa nel continuo), gamma, ... Caratteristiche numeriche delle variabili aleatorie: valore atteso, varianza, momenti; significato fisico ed attuariale. Altri indici posizionali: mediana, moda, quantili, ... Funzioni di una variabile casuale. Disuguaglianze di Cebecev e di Jensen. Funzione generatrice dei momenti. Cenni sulla funzione caratteristica. Esempi ed applicazioni.

**3. DISTRIBUZIONI CONGIUNTE E CONDIZIONATE.** Funzioni di distribuzione congiunte, esempi: distribuzione multinomiale, uniforme, gaussiana. Valori attesi, matrice di covarianza, coefficiente di correlazione. Distribuzioni condizionate per variabili aleatorie discrete e continue. Valori attesi condizionati. Previsione. Varianza condizionata; teorema di decomposizione della varianza. Disuguaglianza di Cauchy - Schwarz. Funzioni di più variabili aleatorie. Somma di variabili aleatorie. Esempi ed applicazioni.

**4. CONVERGENZA.** Convergenza in probabilità di una successione di variabili aleatorie. Convergenza in legge. Cenni sulla convergenza quasi certa. Legge debole dei grandi numeri. Teorema limite centrale. Approssimazione normale. Esempi ed applicazioni.

**5. STIMA DI PARAMETRI.** Statistiche e momenti campionari. Stima puntuale di parametri. Metodo dei momenti. Stimatori di massima verosimiglianza. Stimatori non distorti (unbiased), consistenti. UMVUE, BAN. Disuguaglianza di Cramér - Rao. La famiglia esponenziale. Statistiche sufficienti, complete. Teoremi di Rao - Blackwell e Lehmann - Scheffé. Proprietà asintotiche degli stimatori di massima verosimiglianza. Stima per intervalli. Intervalli di confidenza. Quantità pivo-

tali. Stima di parametri di una distribuzione gaussiana. Distribuzioni chi-quadro, t di student, F di Fischer. Intervalli di confidenza per grandi campioni. Esempi ed applicazioni.

**6. VERIFICA DI IPOTESI.** Confronto tra due ipotesi statistiche. Ipotesi semplici ed ipotesi composte. Regione critica. Errori di prima e seconda specie. Lemma di Neyman - Pearson. Funzione di potenza e test uniformemente più potenti. Il metodo di massima verosimiglianza nel confronto tra due ipotesi. Criterio del rapporto di verosimiglianza generalizzato. Il test chi-quadrato.

**7. REGRESSIONE LINEARE.** Analisi della varianza ad un fattore; verifica di ipotesi su più valori attesi. Funzione di ripartizione empirica, teorema di Glivenko-Cantelli e test di Kolmogorov-Smirnov. Esempi ed applicazioni. Curve e rette di regressione. Stimatori dei minimi quadrati. Teorema di Gauss - Markov. Regressione nel caso gaussiano: intervalli di confidenza e verifica di ipotesi sui parametri. Previsione. Esempi ed applicazioni.

**8. COMPLEMENTI.** Cenni su: catene di Markov e passeggiate aleatorie; entropia; statistica non parametrica; statistica bayesiana; analisi della varianza; analisi in componenti principali.

#### Modalità d'esame

Prova scritta e prova orale.

#### Testi consigliati

A. M. Mood, F.A. Graybill, D. C. Boes: *Introduzione alla Statistica*, McGraw-Hill Italia, Milano, 1988  
P. Baldi: *Calcolo delle probabilità e Statistica*, McGraw-Hill Italia, Milano, 1992.

#### Testi di esercizi

B. Apolloni, A. Barchielli, E. Battistini, D. de Falco, M. Verri: *Problemi svolti di probabilità e statistica matematica*. McGraw-Hill Italia, Milano 1993

P. Baldi, R. Giuliano, L. Ladelli. *Laboratorio di Statistica e Probabilità*, McGraw-Hill Italia 1995

C. Carota, F. Corielli, S. Petrone: *Esercizi di Calcolo delle Probabilità e Statistica inferenziale*, Spiegel, Milano 1992

M. Cerasoli: *Problemi risolti di Calcolo delle Probabilità*, CEA, Milano, 1991

G. Cicchitelli, M.A. Parinone: *Complementi ed esercizi di statistica descrittiva ed inferenziale*. Maggioli, Rimini, 1991

A. Frigessi: *Calcolo delle Probabilità*. ETAS, Milano, 1994

Lipschutz: *Calcolo delle Probabilità*, Collana Schaum, Etas

M. Maravalle, E. Benedetti, M. Coccia, P. Iaffella, M. C. Parisi: *Esercizi di Statistica svolti dal manuale di Mood, Graybill, Boes, McGraw -Hill Italia, Milano, 1996*

Murray & Spiegel: *Probabilità e Statistica*, Collana Schaum, Etas

R. Giuliano: *Laboratorio di Probabilità*. ETS, Pisa, 1987

L. Piccinato: *Calcolo delle probabilità. Esercizi*, La Goliardica, Roma, 1976

M. R. Spiegel: *Statistica*, Collana Schaum, McGraw -Hill, 1993

A. A. Sveshnikov: *Problem in Probability Theory, Mathematical Statistics and Theory of Random Functions*, Dover, New York 1968

Autori vari: *The Statistics Problem Solver*, Research and Education Association, 1987

#### Testi di consultazione

G. Dall'Aglio: *Calcolo delle probabilità*, Zanichelli, Bologna, 1987.

G. Cicchitelli: *Probabilità e statistica*, Maggioli, Rimini, 1984.

H. Cramér: *Mathematical Methods of Statistics*, Princeton University Press, Princeton, 1946.

B. V. Gnedenko: *Teoria della Probabilità*, Editori Riuniti, Roma, 1979.

E. Parzen: *La Moderna Teoria delle Probabilità e le sue Applicazioni*, Franco Angeli, Milano, 1992.

B.W. Lindgren: *Statistical Theory*, Chapman & Hall, New York, 1993

**CALCOLO NUMERICO****AP0014****Proff. Laura GOTUSSO PILLITTERI, Marco FRONTINI***Programma d'esame*

**1. Genesi e maggiorazione degli errori** - Cause di errore nei procedimenti numerici - Affidabilità dei risultati ottenuti dal calcolo - Problema diretto e inverso - Maggiorazione deterministica e maggiorazione statistica degli errori (cenni).

**2. Risoluzione di sistemi lineari** - Sistemi determinati: problemi connessi - Sistemi di piccole e grandi dimensioni - Condizionamento di un sistema - Metodi risolutivi - Tecniche per limitare gli errori nella soluzione e per ridurre i tempi di calcolo - Sistemi sovradeterminati: risoluzioni nel senso dei minimi quadrati.

**3. Autovalori ed autovettori di matrici** - Problemi connessi - Instabilità e necessità di metodi di calcolo atti a limitare gli errori - Metodi efficienti per il calcolo di alcuni autovalori ed autovettori - Trasformazioni per similitudine - Metodi per il calcolo globale di autovalori ed autovettori.

**4. Equazioni e sistemi non lineari** - Generalità - Problematiche connesse - Metodi di punto fisso e di minimizzazione per il calcolo di una radice - Equazioni algebriche - Instabilità delle radici - Cenni ad alcuni metodi risolutivi.

**5. Approssimazione** - Vari tipi di approssimazione di funzioni di una o più variabili con particolare riguardo all'approssimazione interpolatoria e all'approssimazione nel senso dei minimi quadrati nel discreto e nel continuo - Approssimazione mediante polinomi, funzioni spline, funzioni razionali.

**6. Derivazione e quadratura** - Il problema degli errori di arrotondamento nel calcolo di derivate numeriche - Calcolo di integrali: integrali definiti su intervalli limitati ed illimitati, integrali singolari - Criteri di scelta delle formule per il calcolo; maggiorazione degli errori.

**7. Integrazione numerica di equazioni differenziali** - Problema di Cauchy per equazioni e sistemi del primo ordine. Metodi a più passi e metodi Runge-Kutta. Convergenza e stabilità dei metodi di integrazione.

Problemi ai limiti: metodi di Shooting, alle differenze finite e variazionali.

**8. Trasformata di Fourier:** (cenni) - D.F.T. e F.F.T.

**9. Equazioni alle derivate parziali** - Generalità sulle equazioni classiche della fisica matematica: equazioni lineari del 2° ordine ellittiche, paraboliche, ed iperboliche - Problemi al contorno e misti - Metodi alle differenze finite: stabilità e convergenza - Cenni ai metodi agli elementi finiti.

**10. Analisi numerica parallela:** (cenni) - Introduzione al software numerico parallelo - Parallelizzazione di alcuni metodi visti.

**11. Software matematico:** librerie di programmi disponibili presso il Politecnico e modalità d'uso - Il programma Matlab e sue principali possibilità di impiego - Utilizzo di programmi per la risoluzione di semplici problemi numerici - Valutazione critica dei risultati ottenuti.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sugli argomenti svolti a lezione e di una discussione su alcuni elaborati svolti dall'allievo e preventivamente concordati con il docente.

*Libri consigliati*

Si consigliano in particolare:

Atkinson: *An Introduction to Numerical Analysis*, Wiley, 1989.

Bevilacqua-Bini-Capovani-Menchi: *Metodi Numerici*, Zanichelli, 1992.

Bini-Capovani-Menchi: *Metodi Numerici per l'algebra lineare*, Zanichelli, 1988.

Caliò, Frontini: *Matlab - Esercitazioni di calcolo numerico assistite da calcolatore*, CLUP, 1991.

Comincioli: *Analisi numerica*, McGraw-Hill, 1990.

Comincioli: *Analisi numerica - Complementi e problemi*, McGraw-Hill, 1991.

Cugiani: *Metodi dell'Analisi Numerica*, Utet, 1972.

Dahlquist-Björck: *Numerical Methods*, Prentice Hall, 1974.

Gambolati: *Lezioni di Metodi Numerici*, ed. Cortina, Padova, 1994.

Golub-Van Loan: *Matrix Computations*, North-Oxford, London 1989.

Lambert: *Numerical Methods for Ordinary Differential Systems*, John Wiley, New York, 1991

Monegato: *Calcolo Numerico*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

Press-Flannery-Teukolski-Vetterling: *Numerical Recipes*, Cambridge University Press [in Fortran 1986, in Pascal 1989].

Schwarz: *Numerical Analysis*, John Wiley and Sons, 1989.

**CALCOLO NUMERICO (1/2 annualità)****AP0105****Prof. Marco FRONTINI, Alfio QUARTERONI***Programma d'esame*

- 1. Errori nei procedimenti numerici** - Aritmetica in floating point. Generazione e propagazione degli errori in un processo di calcolo. Condizionamento e stabilità di problemi numerici e algoritmi.
- 2. Risoluzione numerica di sistemi lineari** - Condizionamento del problema. Metodi risolutivi diretti: eliminazione e fattorizzazione. Metodi risolutivi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, rilassamento, Richardson, gradiente e gradiente coniugato. Il metodo dei minimi quadrati per sistemi sovradeterminati.
- 3. Approssimazione di radici di equazioni non lineari** - Metodi di bisezione, delle corde, delle secanti e di Newton per il calcolo delle radici di una equazione non lineare. Il caso delle equazioni algebriche.
- 4. Approssimazione polinomiale di funzione e dati** - Interpolazione semplice e composta. Approssimazione nel senso dei minimi quadrati.
- 5. Formule di quadratura** - Formule di Newton-Còtes. Formule composite. Formule di Gauss.
- 6. Risoluzione numerica di equazioni differenziali ordinarie** - Problema di Cauchy per equazioni e sistemi del primo ordine. Metodi risolutivi ad un passo e a più passi. Metodi di Runge Rutta e metodi predictor-corrector. Analisi di consistenza, zero stabilità, stabilità relativa ed assoluta, analisi di convergenza.
- 7. Approssimazione di autovalori di matrici** - Metodi delle potenze e potenze inverse per il calcolo degli autovalori estremi. Cenni al metodo QR.
- 8. Software matematico** - Utilizzo del programma MATLAB come strumento di calcolo interattivo.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sugli argomenti svolti a lezione e di una prova al calcolatore che comporta l'utilizzo del programma MATLAB.

*Libri consigliati*

A. Quarteroni, *Elementi di Calcolo Numerico*, Esculapio, Bologna, 1994  
 C. Carlenzoli, F. Saleri, *Esercizi di Calcolo Numerico*, Esculapio, Bologna, 1995

*Per un approfondimento dei vari argomenti si segnalano inoltre:*

K. Atkinson: *Elementary Numerical Analysis*, John Wiley & Sons, New York, 1985.  
 V. Comincioli: *Analisi Numerica, Metodi Modelli Applicazioni*, McGraw-Hill, Milano, 1990.  
 G. Golub, C. Van Loan: *Matrix Computation*, North Oxford Academic, London, 1989.  
 J.D. Lambert: *Numerical Methods for Ordinary Differential Systems*, John-Wiley, New York, 1991.  
 M. Frontini, A. Tagliani: *Calcolo Numerico. Esercizi e Temi di Esame*, CLUP, 1994.

**CALCOLO NUMERICO (1/2 annualità)**  
**Proff.sse Franca CALIO', Raffaella PAVANI**

**AP0105***Programma d'esame*

- 1. Errori nei procedimenti numerici** - Processo di calcolo. Aritmetica in floating point. Generazione e propagazione degli errori in un processo di calcolo. Condizionamento e stabilità di problemi numerici e algoritmi.
- 2. Risoluzione numerica di sistemi lineari** - Condizionamento del problema. Metodi risolutivi diretti: eliminazione e fattorizzazione. Metodi risolutivi iterativi: Jacobi. Il metodo dei minimi quadrati per sistemi sovradeterminati.
- 3. Approssimazione di autovalori di matrici** - Condizionamento del problema. Metodo QR per il calcolo degli auto valori.
- 4. Approssimazione di radici di equazioni non lineari** - Metodi di bisezione e di Newton per il calcolo delle radici di una equazione. Il caso delle equazioni algebriche. Cenni al caso di sistemi non lineari.
- 5. Approssimazione di funzione e dati** - Interpolazione semplice e composta. Approssimazione nel senso dei minimi quadrati.
- 6. Formule di quadratura** - Formule di Newton-Cotes. Formule composte.
- 7. Risoluzione numerica di equazioni differenziali ordinarie** - Problema di Cauchy per equazioni e sistemi del primo ordine. Metodi risolutivi di tipo Runge Kutta; cenni ai metodi multi-step. Analisi di consistenza, stabilità e convergenza.
- 8. Software matematico** - Utilizzo del programma **MATLAB** come strumento di calcolo interattivo. Esempi di utilizzo librerie di programmi.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sugli argomenti svolti a lezione e di una prova al calcolatore utilizzando il programma MATLAB.

*Libri consigliati*

Atkinson: *Elementary Numerical Analysis*, John Wiley & Sons, New York, 1985.  
 F. Calio', R PAVANI: *Appunti di Calcolo numerico elementare*, CUSL, 1995  
 A. Quarteroni: *Elementi di Calcolo numerico*, Esculapio, Bologna, 1994  
 F. Calio', M. Frontini: *MATLAB Esercitazioni di Calcolo Numerico assistite da calcolatore*, CLUP, 1991.  
 R. PAVANI et al.: *Esercizi di Calcolo Numerico svolti in MATLAB*, CUSL, 1994

*Per un approfondimento dei vari argomenti si segnalano inoltre:*

V. Comincioli: *Analisi numerica, metodi modelli applicazioni*, McGraw-Hill, Milano, 1990.

G. Golub, C. Van Loan: *Matrix Computation*, North-Oxford Academic, London, 1989.

J.D. Lambert: *Numerical Methods for Ordinary Differential Systems*, John-Wiley, New York, 1991.

## **CAMPI ELETTROMAGNETICI** **Proff. Carlo CAPSONI, Marco POLITI**

**AG0214**

*Programma d'esame*

**Campi statici.** Richiami di elettrostatica e magnetostatica: equazioni di Laplace e di Poisson; condizioni al contorno; teorema di unicità; metodi analitici e numerici per la soluzione di campi statici (immagini, differenze finite, separazione delle variabili, etc.).

**Campi variabili nel tempo.** Equazioni di Maxwell in forma integrale e differenziale; vettori fasori; relazioni costitutive; teoremi e principi fondamentali; equazioni d'onda e di Helmholtz; condizioni al contorno. Teorema e vettore di Poynting; effetto pelle; potenziali ritardati.

**Linee di trasmissione.** Analisi a parametri distribuiti; onde di tensione e di corrente; impedenza caratteristica; coefficienti di riflessione e trasmissione; rapporto d'onde stazionarie; trasformazione d'impedenza; diagramma di Smith; tecniche di adattamento  $Qd4$ , singolo e doppio stub, balun; perdite; velocità e ritardo di gruppo.

**Propagazione di onde piane.** Polarizzazione delle onde; riflessione da piano conduttore; riflessione e trasmissione da discontinuità dielettriche piane; onde TE e TM; angoli critici e di polarizzazione; discontinuità piane multiple; mezzi con perdite.

**Propagazione guidata.** Onde in strutture cilindriche delimitate da superfici conduttrici (modi TEM, TE e TM); frequenza di taglio; impedenza d'onda e velocità di fase; guida a piani paralleli; guide d'onda rettangolare e circolare; cenni sulle guide d'onda dielettriche (fibre ottiche).

**Radiazione.** Dipoli hertziano e magnetico; parametri delle antenne; reciprocità.

**Elementi di compatibilità elettromagnetica.**

*Esercitazioni*

Il corso prevede esercitazioni teoriche e sperimentali.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta selettiva, seguita da un orale.

*Libri consigliati*

S. Ramo-J. Whinnery-T. Van Duzer: *Fields and waves in Communication Electronics*, ed III, J. Wiley Plonsey, Collin: *Principles and applications of electromagnetic fields*, Me Graw Hill.

Conciauro: *Introduzione alle onde elettromagnetiche*, Me Graw-Hill.

Franceschetti: *Campi elettromagnetici*, Boringhieri.

Cherin: *An introduction to opticalfiber*, Me Graw Hill.

## **CARATTERI DISTRIBUTIVI E COSTRUTTIVI NEGLI EDIFICI**

### **Prof. Emilio PIZZI**

AJ0101

#### *Programma d'esame*

**0. Generalità.** L'insegnamento si prefigge di fornire la conoscenza di base, i fondamenti metodologici e le strumentazioni operative propedeutici alle problematiche della progettazione architettonica che saranno sviluppate nel corso di Architettura Tecnica e Composizione Architettonica.

#### **1. Concetti generali e riferimenti per la progettazione edilizia.**

1.1 Sistema edilizio e sue articolazioni: i sistemi spaziale, ambientale e tecnologico

1.2 - il ruolo della progettazione nella definizione dei sistemi.

**1.3** - il processo edilizio e le sue articolazioni in fasi decisionali, fasi esecutive, fasi gestionali.

1.4 - inquadramento del progetto architettonico e del suo controllo nel processo edilizio.

#### **2. Caratteri distributivi degli edifici.**

**2.1** - Concetti di tipo e di tipologia; cenni storici e articolazione attuale;

**2.2** - Analisi tipologica e rapporti con il contesto; rapporti tradizione-innovazione e aspetti evolutivi socio-economici; rapporto tra tipologia e tecnologia e mutue influenze.

**2.3** - Analisi funzionale e spaziale in funzione della destinazione edilizia;

**2.4** - Caratteri e parametri tipologici delle varie destinazioni edilizie.

#### **3. La tecnologia e i caratteri costruttivi degli edifici.**

**3.1** - Analisi del sistema tecnologico e concetti guida per la sua progettazione

**3.2** - Caratteri e parametri dei sottosistemi tecnologici

**3.3** - Cenni storici e articolazione attuale della produzione per i principali sottosistemi

#### **4. Metodologia di progettazione dei sistemi edilizi.**

**4.1** - La storicizzazione del progetto: il rapporto con il contesto ambientale naturale, con il contesto geografico e territoriale, con il contesto urbanizzato, con il contesto architettonico, con il contesto sociale ed economico, con il contesto produttivo, ecc.

**4.2** - Le fasi di analisi nella progettazione funzionale spaziale: analisi funzionale delle attività dell'utenza; analisi delle esigenze e delle condizioni ambientali; analisi delle attrezzature e dei servizi; analisi delle esigenze e delle condizioni ambientali; analisi delle attrezzature e dei servizi; analisi delle esigenze spaziali

**4.3** - Le fasi di sintesi nella progettazione funzionale spaziale

- identificazione e progetto delle Unità spaziali

- L'aggregazione delle unità spaziali nel progetto dei sistemi edilizi complessi.

**4.4** - Teorie e tecniche di supporto alla progettazione

- la teoria della qualità in edilizia e l'approccio prestazionale

- teoria e strumenti applicativi del coordinamento delle dimensioni

**4.5** - introduzione alla normativa qualitativa e al controllo della qualità.

#### **5. Il controllo di qualità nella progettazione degli interventi edilizi.**

**5.1** - Verifiche della qualità: verifiche distributive e dimensionali degli spazi, verifiche ambientali, verifiche di congruenza tecnologica e verifiche dell'attitudine dell'edificio a consentire diversi assetti spaziali.

**5.2** - I problemi di gestione degli edifici e le ricadute progettuali.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni, alle quali lo studente dovrà regolarmente iscriversi all'inizio dell'anno di corso, consisteranno nello svolgimento di progetti ed elaborati in aula. 3 elaborati progettuali. Secondo il calendario che verrà comunicato all'inizio delle lezioni, saranno svolte 2/3 prove scritte che concorreranno alla formazione del giudizio finale di esame.

*Modalità d'esame*

L'esame consisterà in una prova orale. Per essere ammessi, gli studenti dovranno aver svolto, con esito positivo, le esercitazioni e le prove scritte.

*Libri consigliati*

P. Von Meiss: *Dalla Forma al Luogo*, Hoepli, Milano

E. Zambelli: *Il sistema edilizio residenziale*; ed. F. Angeli, Milano.

P.N. Maggi: *Il processo edilizio*, Voi. 1, CittàStudi, Milano.

**CATALISI INDUSTRIALE****AF0036****Prof. Luca LIETTI***Programma d'esame*

**Generalità:** importanza della catalisi, dati storici sui processi catalitici industriali, mercato dei catalizzatori, prospettive e sviluppi futuri, proprietà di un catalizzatore industriale, campi di applicazione della catalisi industriale, definizione di catalizzatore, proprietà desiderate di un catalizzatore industriale, catalisi omogenea ed eterogenea, componenti di un catalizzatore eterogeneo, gli stadi della catalisi eterogenea, classificazione dei catalizzatori industriali.

**Adsorbimento fisico e chimico:** metodi sperimentali (volumetrici, calorimetrici e spettroscopici) nello studio dell'adsorbimento fisico e chimico, calore di adsorbimento, isoterme di adsorbimento e chemisorbimento in catalisi.

**Cinetica chimica:** modelli per sistemi reagenti semplici (Langmuir-Hinshelwood, Rideal, Redox, legge di potenza), modelli per sistemi reagenti complessi, analisi di regressione per modelli cinetici.

**Disattivazione dei catalizzatori,** aspetti chimici e cinetici.

**Fenomeni di trasporto in catalisi eterogenea:** trasporto interfase ed interfase di materia e calore, criteri teorici e sperimentali per la verifica della rilevanza di limitazioni diffusive.

**Reattori catalitici:** reattori catalitici di laboratorio, reattori catalitici industriali.

**Preparazione dei catalizzatori:** operazioni unitarie nella preparazione di catalizzatori, preparazione di catalizzatori di bulk per precipitazione, preparazione di catalizzatori supportati per impregnazione.

**Caratterizzazione dei catalizzatori:** cenni sulle tecniche di caratterizzazione morfologiche, chimico-fisiche e meccaniche più comuni.

**Esempi di processi catalitici** nell'industria petrolifera, nell'industria petrolchimica e nella protezione dell'ambiente.

*Esercitazioni*

Nell'ambito del corso sono previste esercitazioni numeriche e sperimentali di laboratorio. Sono inoltre previste visite a strumenti, impianti di laboratorio e possibilmente ad impianti industriali.

*Libri consigliati*

Oltre agli appunti e al materiale distribuito a lezione si consiglia:

C.N. Saterfield: *Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice*, Second Edition McGraw-Hill.

**CHIMICA****AD0001**

(per tutti gli allievi esclusi quelli di Ingegneria Chimica)

**Proff. Sergio AURICCHIO, Pierfrancesco BRAVO, Tullio CARONNA, Angelo CLERICI, Fabio GANAZZOLI, Sergio MORROCCHI, Stefano SERVI, Antonio ZANAROTTI, Elena VISMARA, Aldo RICCA, Calimero TICOZZI.***Programma d'esame***PARTE GENERALE**

**L'atomo.** *Struttura dell'atomo*, nucleo ed elettroni, spettri atomici e quantizzazione dell'energia, teorie quantistiche, interpretazione ondulatoria, orbitali atomici, forme ed energie degli orbitali, configurazioni elettroniche. *Sistema periodico*: carica nucleare effettiva, raggio atomico, energia di ionizzazione, affinità elettronica, elettronegatività, correlazione tra proprietà degli elementi e posizione nel sistema periodico.

**Il legame chimico.** *Le molecole*: legame covalente e dativo, elettronegatività, legame di valenza, strutture di Lewis, forma e geometria delle molecole, polarità delle molecole, ibridazione, risonanza, orbitali delocalizzati, orbitali molecolari. *Interazioni tra le molecole*: legame idrogeno, legami elettrostatici deboli, composti di coordinazione (cenni). *Legame ionico. Legame metallico*: teoria delle bande, conduttori e semiconduttori.

**Stechiometria.** Nomenclatura chimica. Conservazione della massa. Peso atomico. Peso molecolare. Peso formula. Numero di Avogadro. Mole e massa molare. Equivalente e massa equivalente. Equazioni chimiche. Numero di ossidazione. Ossido-riduzioni. Bilanciamento delle reazioni. Gas ideale e gas reali: equazione di stato del gas ideale, miscugli gassosi, pressioni parziali. Soluzione di composti ionici e molecolari. Concentrazione e modi di esprimerla.

**Termodinamica chimica.** *Sistema termodinamico*: variabili di stato e funzioni di stato, stato standard e di riferimento, variazioni energetiche. *Primo principio*: energia interna e lavoro, entalpia ed entalpia standard, termochimica. *Secondo principio*: spontaneità, reversibilità ed equilibrio, entropia e disordine, entropia standard e terzo principio.

**Energia libera e spontaneità delle reazioni.** Energie libere standard. Lavoro massimo utilizzabile.

**Equilibri chimici.** *Equilibri omogenei*: derivazione termodinamica della espressione della legge dell'azione di massa, costanti di equilibrio e loro uso, fattori che influenzano l'equilibrio (T, P e concentrazione). *Equilibri eterogenei*: fasi, variabili chimiche e fisiche, gradi di libertà la regola delle fasi e sue applicazioni.

**Cinetica chimica.** *Velocità delle reazioni*: misura della velocità di reazione, ordine di reazione e molarità. Fattori che influenzano la velocità di reazione, teoria collisionale e distribuzione di Maxwell-Boltzman, energia di attivazione ed equazione di Arrhenius. *Reazioni radicaliche a catena. Meccanismi di reazione. Catalisi omogenea ed eterogenea.*

**Stati di aggregazione.** *Stato gassoso. Stato liquido. Stato solido*: solidi ionici, solidi molecolari, solidi covalenti, solidi metallici, reticoli cristallini. *Passaggi di stato*: pressione di vapore, equazione di Clausius-Clapeyron, temperatura e pressione critica, liquefazione dei gas, diagrammi di stato di sistemi ad un componente. *Soluzioni*: solubilità, soluzioni reali ed ideali, energie di solvatazione, entalpia, entropia ed energia libera di mescolamento, legge di Raoult, azeotropi, distillazione e diagrammi relativi. *Proprietà colligative*: abbassamento della pressione di vapore, ebullioscopia, crioscopia, curve di raffreddamento di soluzioni, diagrammi di stato eutettici, pressione osmotica.

**Le soluzioni elettrolitiche.** *Dissociazione elettrolitica*: conducibilità delle soluzioni, relazione tra conducibilità e grado di dissociazione, attività e coefficiente di attività, proprietà colligative di soluzioni elettrolitiche. *Equilibri in soluzione*: autodissociazione dell'acqua, teorie sugli acidi e le basi (Arrhenius, Brønsted, e Lewis), costanti di dissociazione degli acidi e delle basi, relazione tra

struttura e forza di acidi e basi, anfoteri, pH, indicatori di pH, idrolisi salina, prodotto di solubilità, titolazione acido-base.

**Elettrochimica.** *Pile:* potenziali elettrodi, relazione tra AG e forza elettromotrice, semielementi, equazione di Nernst, scala dei potenziali standard, pile di concentrazione, uso dei valori di potenziale, misure elettrochimiche delle concentrazioni, pile di interesse pratico. *Elettrolisi:* aspetti quantitativi dell'elettrolisi, potenziale di elettrolisi, sovratensione, applicazioni dell'elettrolisi, accumulatori. *Corrosione dei metalli:* meccanismi di corrosione, protezione contro la corrosione.

#### PARTE DESCRITTIVA

**Idrogeno.** *Proprietà e preparazione. Acqua,* struttura.

**Metalli alcalini.** *Proprietà generali. Preparazione degli elementi. Carbonato di sodio. Idrato sodico.*

**Metalli alcalino-terrosi.** *Proprietà generali. Preparazione degli elementi. Ossido e carbonato di calcio.*

**Elementi del terzo gruppo.** *Proprietà generali. Preparazione industriale dell'alluminio.*

**Elementi del quarto gruppo.** *Proprietà generali. Carbonio: forme allotropiche. Composti ossigenati. Silicio e silice.*

**Elementi del quinto gruppo.** *Proprietà generali. Azoto. Ammoniaca e sua preparazione. Ossidi. Acido nitrico. Fosforo. Acido fosforico. Fertilizzanti.*

**Elementi del sesto gruppo.** *Proprietà generali. Ossigeno. Zolfo. Ossidi dello zolfo. Acido solforico e sua preparazione.*

**Alogeni.** *Proprietà generali. Cloro: preparazione elettrochimica. Acido cloridrico. Acidi ossigenati del cloro.*

**Elementi di transizione.** *Generalità. Rame: preparazione e raffinazione. Ferro: ghise, acciai.*

**Chimica organica.** *Caratteristiche chimico-fisiche dei composti organici. Idrocarburi. Gruppi funzionali. Polimeri naturali ed artificiali (cenni).*

#### Esercitazioni

Le esercitazioni costituiscono parte integrante del corso. In esse si applicano i concetti sviluppati durante le lezioni anche mediante calcoli.

#### Nota agli studenti

Lo studio della parte descrittiva deve essere inteso come applicazione dei principi e delle leggi fondamentali illustrate nella parte generale e non come arido apprendimento delle reazioni, avulso dalle proprietà chimico-fisiche degli elementi e dei composti.

#### Modalità d'esame

L'esame è costituito da una prova scritta e una orale. La prova scritta consta di una serie di problemi e di domande le cui soluzioni e risposte saranno rese note immediatamente dopo la fine della prova. In tale maniera si intende offrire ai candidati anche la possibilità valutare autonomamente la propria preparazione e di decidere se presentarsi subito alla prova orale o se proseguire la preparazione e presentarsi alle prove di un appello successivo.

*Libri consigliati*

J.E. Brady e J.R. Holum: *Fondamenti di chimica*, Zanichelli, Bologna.

T.L. Brown e H.E. Lemay: *Chimica*, Zanichelli, Bologna.

P. Corradini: *Chimica generale*, C.E.A., Milano.

R.E. Dickerson, H.B. Gray e G.P. Haigh: *Principi di chimica*, Grasso, Bologna.

P. Silvestroni: *Fondamenti di chimica*, Veschi, Milano.

A. Clerici e S. Morrocchi: *Esercitazioni di chimica*, Spiegel, Milano.

D.A. Me Quarrie e P.A. Rock: *Chimica generale*, Zanichelli, Bologna.

Ogni docente indicherà i testi consigliati per la propria sezione.

**CHIMICA****AD0001**

(per allievi di Ingegneria Chimica, Elettrica, dei Materiali e Nucleare)

**Proff. Giuseppe ALLEGRA, Dario GHIRINGHELLI**

*Programma d'esame*

**Introduzione.** Elementi e composti. Atomi e molecole. Scala dei pesi atomici. Grammoatomo e grammomolecola. Fenomeni chimici e fisici. Unità di Misura.

**Struttura dell'atomo.** Proprietà elettriche della materia. Carica dell'elettrone. Modelli atomici. Spettroscopia atomica. Natura ondulatoria degli elettroni. Principio di Heisenberg. Equazioni d'onda. Orbitali atomici. Distribuzione degli elettroni negli atomi. Configurazione elettronica e sistema periodico degli elementi.

**Stato Gassoso.** Equazione di stato del gas ideale. Gas reali. (Argomento trattato nelle Esercitazioni).

**Legame chimico.** Potenziale di ionizzazione, affinità elettronica e configurazione elettronica. Legame ionico. Energia reticolare. Ciclo di Bom-Haber. Legame covalente. Energia di legame. Orbitali molecolari. Elettronegatività. Momento dipolare. Ibridizzazione. Risonanza. Forze intermolecolari. Forze di Van der Waals, legame a idrogeno, interazione ione-dipolo. Legame metallico.

**Termodinamica chimica.** Stato termodinamico di un sistema. Equilibrio. Processi reversibili e irreversibili. Funzioni e variabili di stato. Primo Principio della termodinamica. Termochimica. Entalpia. Entalpie di formazione. Legge di Hess e sue applicazioni. Degradazione dell'energia. Secondo Principio della termodinamica. Entropia. Entropia e disordine e probabilità. Terzo Principio della Termodinamica. Entropia assoluta. Energia libera.

**Equilibri chimici omogenei.** Energia libera e equilibrio chimico. Legge dell'azione di massa. Relazione tra  $K_p$  e  $K_c$ . Dipendenza delle costanti di equilibrio dalla temperatura. Influenza della pressione e della concentrazione. Esempi di applicazioni industriali degli equilibri.

**Cinetica chimica.** Velocità di reazione. Relazione tra cinetica e equilibrio di una reazione. Ordine di reazione. Energia di attivazione. Stato di transizione. Equazione di Arrhenius. Distribuzione dell'energia cinetica di un gas. Approssimazione dello stato stazionario. Processi a catena. Iniziazione chimica e fotochimica. Reazioni fotochimiche. Catalizzatori. Catalisi omogenea ed eterogenea. Applicazioni industriali delle leggi cinetiche e dell'equilibrio chimico.

**Stati condensati della materia.** Stato solido. Stato liquido. Soluzioni. Tensione di vapore. Equazione di Clapeyron. Legge di Rault. Distillazione. Azeotropi. Crioscopia e ebulloscopia. Pressione osmotica. (L'argomento verrà sviluppato nel corso delle esercitazioni).

**Equilibri eterogenei.** Fasi, variabili chimiche e fisiche. Varianza di un sistema chimico eterogeneo in equilibrio. Potenziale chimico. Regola delle fasi e applicazioni. Diagramma di stato: sistemi ad un componente e sistemi a due componenti.

**Soluzioni elettrolitiche.** Proprietà dell'acqua. Dissociazione elettrolitica. Conducibilità elettrica delle soluzioni. Attività. Proprietà colligative delle soluzioni.

**Acidi, basi e sali.** Dissociazione elettrolitica dell'acqua. Acidi e basi secondo Arrhenius, Brønsted e Lewis. Principali tipi di acidi: idracidi e ossiacidi. Metodi generali di preparazione degli acidi. Principali tipi di basi. Metodi generali di preparazione delle basi. Ossidi acidi e basici. Elettroliti anfoteri. Forza degli acidi e delle basi e costituzione chimica. Prodotto ionico dell'acqua e pH. Indicatori. Acidità in solventi non acquosi. Dissociazione graduale di acidi poliprotici. Titolazioni acidimetriche. Sali. Metodi generali di preparazione dei sali. Idrolisi salina. Soluzioni tampone. Prodotto di solubilità. Reazioni di spostamento degli acidi e delle basi.

**Elettrochimica.** Energia libera e lavoro elettrico. Equazione di Nerst. Potenziale di un semielemento. Elettrodo di idrogeno. Pile chimiche. Potenziale standard. Usi chimici dei potenziali standard. Pile a concentrazione. Misura potenziometrica del pH. Misura potenziometrica delle costanti di equilibrio. Elettrolisi. Potenziale di decomposizione termodinamico. Sovratensione. Leggi dell'elettrolisi. Elettrolisi di sali fusi e di soluzioni acquose di elettroliti. Accumulatori. Corrosione dei metalli. Protezione contro la corrosione.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in due prove, una scritta e una orale. La prova scritta verterà prevalentemente su problemi ed esercizi svolti nel corso delle Esercitazioni.

#### *Libri consigliati*

P. Chiorboli: *Fondamenti di Chimica*, UTET, Torino.

A. Clerici e S. Morrocchi: *Esercitazioni di Stechiometria*, Ed. Spiegel, Milano (1986)

## **CHIMICA FISICA APPLICATA**

**AE0019****Prof. Renato ROTA**

#### *Programma d'esame*

Richiami sulle teorie molecolari dei fluidi.

Calcolo e correlazione delle proprietà termodinamiche dei fluidi dalle proprietà molecolari.

Equilibri fisici e chimici in sistemi condensati a più componenti.

Cinetica fisica. Calcolo e correlazione della proprietà di trasporto dei fluidi dalle proprietà molecolari.

Cinetica dei processi di combustione. Fiamme.

Cinetica dei processi di polimerizzazione omogenei ed eterogenei.

Chimica fisica delle interfaci. Sistemi dispersi e colloidali.

Stabilità dei sistemi dispersi.

Teoria VLDO.

Applicazione della chimica fisica dei colloidi ai processi di polimerizzazione.

Aspetti chimico-fisici della sintesi dei materiali solidi da fasi fluide.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale.

#### *Libri consigliati*

S. Carrà: *Termodinamica*, Bollati, Torino, 1990.

S. Carrà, M. Morbidelli: *Chimica fisica applicata*, Hoepli, Milano, 1983.

**CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI****AE0103**

(per gli allievi di Ingegneria Chimica)

**Prof.ssa Luisa BICELLI PERALDO***Programma d'esame*

**Elementi di meccanica quantistica per lo studio degli atomi.** Crisi della fisica classica. Spettro del corpo nero e ipotesi di Planck. Teoria di Bohr-Sommerfeld. Livelli energetici dell'atomo di idrogeno. Oscillatore armonico. Dualismo ondulatorio-corpuscolare della radiazione e della materia. Principio di indeterminazione.

Equazione temporale di Schroedinger e sua integrazione. Interpretazione probabilistica di Bom. Equazione degli stati stazionari. Autovalori e autofunzioni. Livelli energetici. Gradino e barriera di potenziale (effetto tunnel). Particella in una scatola parallelepipedica. Atomo di idrogeno. Numeri quantici. Formulazione generale della meccanica quantistica ed i quattro postulati fondamentali. Particella carica in un campo elettromagnetico. Sistemi a più particelle. Particelle identiche e non identiche. Postulato di simmetrizzazione. Principio di esclusione. Atomi con più elettroni. Metodo autoconsistente di Hartree. Sistema periodico degli elementi.

**Chimica fisica del legame chimico per lo studio delle molecole.** Chimica al computer elettronico. Metodi approssimati. Metodo variazionale. Studio di legami nelle molecole. Metodo dell'orbitale molecolare. Approssimazione LCAO. Molecole biatomiche omonucleari ed eteronucleari. Metodo del legame di valenza. Percentuale di carattere ionico di un legame e scala delle elettronegatività. Molecole poliatomiche. Ibridazione. Molecole coniugate e aromatiche. Orbitali de localizzati.

**Chimica fisica per lo studio dei legami nei solidi.** Il legame metallico. Metodo dell'orbitale molecolare. Teoria dell'elettrone libero. Teoria di Bloch. Zone di Brillouin. Conduttori, isolanti e semiconduttori. Semiconduttori intrinseci e estrinseci. Giunzione semiconduttore-metallo.

**Termodinamica statistica per lo studio delle proprietà chimico-fisiche dei materiali solidi dalla conoscenza alla scala microscopica.** Fondamenti. Statistica di Boltzmann. Micro- e macrostato. Probabilità termodinamica. Legge di ripartizione. Funzione di ripartizione. Equiripartizione dell'energia. Caso dei gas mono-bi- e poliatomici e dei solidi monoatomici. Statistiche quantistiche di Bose-Einstein, di Fermi-Dirac. Funzione di Fermi-Dirac. Funzione di Fermi. Casi in cui si applicano le diverse statistiche.

Espressione statistica dell'entropia. Fluttuazioni. Determinazione della costante che compare nell'espressione statistica dell'entropia. Espressione statistica delle altre grandezze termodinamiche. Funzione di ripartizione traslazionale, rotazionale e vibrazionale. Applicazione ai gas ideali ed ai liquidi. Applicazione ai solidi cristallini. Teoria di Einstein e di Debye. Cinetica di reazione. Teoria del complesso attivato.

*Libri consigliati*

Dispense del corso.

P.W. Atkins: *Chimica fisica*, Zanichelli, Bologna, 1989.J.C. Slater: *Teoria quantistica della materia*, Zanichelli, Bologna, 1985G.M. Barrow: *Chimica fisica*, Zanichelli, Bologna, 1976.J.P. Lowe: *Quantum Chemistry*, Student Edition, Academic Press, New York, 1978.G. Caglioti: *Introduzione alla Fisica dei Materiali*, Zanichelli, Bologna, 1974.

**CHIMICA FISICA DEI MATERIALI SOLIDI**  
(per gli allievi di Ingegneria Nucleare e dei Materiali)  
**Prof. Umberto DUCATI**

**AE0103***Programma d'esame*

**Fondamenti di meccanica statistica.** Stati, insiemi, meccanica statistica e termodinamica. Fluttuazioni. Master equations ed equilibrio dettagliato. Statistica delle particelle. Statistiche quantistiche. Approssimazione quasi-classica e meccanica statistica dei gas.

**Richiami di termodinamica e termodinamica chimica.** Variabili di configurazione chimica. Scambi di lavoro. Termochimica. Effetti termodinamici di reazione ed energetica chimica. Grandezze parziali molari, fugacità, attività; leggi di Raoult e di Henry. Equilibri in sistemi reagenti non ideali gassosi e condensati.

**Cinetica dei processi.** Leggi empiriche della cinetica chimica. Velocità specifica di reazione, teorie di Arrhenius e di Eyring. Termodinamica dei processi irreversibili in campo lineare: bilanci locali di materia, di entropia, di energia, di quantità di moto. Accoppiamento di flussi e forze e relazioni di Onsager. Processi in sistemi omogenei, eterogenei, continui. Teorema della minima produzione di entropia allo stato stazionario. Stabilità degli stati stazionari. Campo di non linearità. Teoria della biforcazione. Processi autocatalitici. Strutture dissipative, autoorganizzazione.

**Proprietà termodinamiche della materia allo stato condensato.** Il cristallo semplice, equazioni di Einstein e Debye per la capacità termica. Soluzioni ideali, non ideali, regolari, non regolari. Energia libera di sistemi e fasi a più componenti. Equilibrio fra le fasi. Transizione di primo ordine e di ordine superiore. Transizioni ordine disordine: il metodo di Kirkwood e le soluzioni approssimate; l'approssimazione quasi-chimica. Analisi e sintesi di diagrammi di stato. Cenni ai difetti nei cristalli. Effetti di superficie e di interfaccia. Energia libera delle regioni interfase. Adsorbimento; il metodo di Gibbs. Equilibri di interfaccia. Strutture e modelli di bordo di grano.

*Libri consigliati*

S. Carrà: *Introduzione alla termodinamica chimica*, Zanichelli.

W. Girifalco: *Statistical mechanics of solids*, Wiley Interscience.

R. Haase: *Thermo dynamics of irreversible processes*, Addison Wesley.

I. Prigogine-G. Nicolis: *Le strutture dissipative*, Sansoni.

C.H.P. LUPIS: *Chemical Thermodynamics of Materials*, North Holland.

**CHIMICA II**  
**Prof. Attilio CITTERIO**

**AD0100***Programma d'esame***SISTEMA PERIODICO DEGLI ELEMENTI.**

**Idrogeno** - Preparazione, proprietà ed usi dell'elemento e dei suoi isotopi - Idrogenazioni - Acqua - Legame Idrogeno - Composti di inclusione - Forza degli acidi protici e dei cationi - Superacidi - Proprietà degli acidi (HF, HCl, HBr, HI, HNO<sub>3</sub>, HC<sub>10</sub>) - Diagrammi di stabilità acido-base e redox - Idruri salini - Idruri più covalenti.

**Metalli alcalini** - Preparazione e proprietà degli elementi - Alogenuri ed altri composti binari - Idrossidi - Solvatazione e complessazione - Composti organometallici.

Metalli alcalino terrosi - Preparazione e proprietà degli elementi - Ossidi - Idrossidi - Alogenuri - Sali di ossiacidi - Carbonati - Materiali ceramici - Composti organometallici - Struttura dei reagenti di Grignard.

Boro - Preparazione e proprietà dell'elemento - Derivati ossigenati - Alogenuri - Borani.

Alluminio - Preparazione e proprietà dell'elemento - Ossido - Idrossido - Alogenuri - Sali di ossiacidi - Composti di coordinazione - Idruri complessi - Organometallici dell'alluminio. Cenni sulla chimica del Gallio, Indio e Tallio.

Carbonio - Allotropia - Grafite - Carbone - Carburi - Ossido di Carbonio - Anidride carbonica - Alogenuri - Cianuri e composti relativi - Composti con legame C-S - Composti insaturi organici. Apticità e connessione di leganti.

Silicio - Preparazione e proprietà dell'elemento - Silani - Alogenuri - Silice (allotropia, proprietà ed usi) - Silicati, alluminosilicati e zeoliti - Vetri - Cementi - Argilla.

Germanio, stagno e piombo - Semiconduttori - Composti bivalenti e tetravalenti - Ossidi e idrossidi - Alogenuri - Sali di ossiacidi - Composti organometallici.

Azoto - Proprietà dell'elemento - Nitrucci - Ammoniaca - Acido azotidrico - Ossidi - Acidi ossigenati - Idrossilammina - Idrazina - Derivati alogenati - Derivati azotati come leganti - Ciclo dell'azoto.

Fosforo, arsenico, antimonio e bismuto - Proprietà e preparazione degli elementi - Stereochimica dei derivati - Idruri - Alogenuri - Ossidi - Solfuri - Ossiacidi - Ossialogenuri - Composti con legami P-N e P-C.

Ossigeno - Struttura e proprietà dell'elemento - Reazioni di combustione - Ossigeno singoletto - Ozono - Acqua ossigenata - Perossidi - Derivati ossigenati come leganti.

Zolfo - Zolfo elementare, proprietà e diagramma di stato - Acido solfidrico - Solfuri - Composti con legami S-N e S-S - Alogenuri - Ossidi - Ossialogenuri - Ossiacidi - Derivati solforati come leganti.

Alogeni - Elementi - Acidi alogenidrici e alogenuri - Ossidi - Ossiacidi - Composti tra alogeni - Composti ipervalenti.

Gas nobili - Struttura e proprietà - Chimica dello Xenon: fluoruri e derivati ossigenati.

Zinco, Cadmio, Mercurio - Elementi - Mercurio(I) e (II) - Ossidi - Alogenuri - Sali di ossiacidi - Organometalli.

La chimica degli elementi di transizione - Struttura e proprietà - Teoria del campo dei leganti - Approccio del campo cristallino - approccio MO - Flussionalità - Isomeria. Catalisi metallica.

Elementi della prima serie di transizione: I metalli, gli stati di ossidazione più bassi e più alti - Composti con stato di ossidazione (III), Metallocarbonili - Proprietà magnetiche ed ottiche. Superconduzione.

**Titanio** - Elemento: proprietà e preparazione - Ti(IV),  $d^0$  - Ti(III),  $d^1$  - Ti(II),  $d^2$  - Composti organometallici. **Vanadio** - La Chimica del V (V), V (IV), V (III) e V (II). Polimetallati. **Cromo** - Preparazione e proprietà dell'elemento - Chimica del Cr(II), Cr(III), Cr(IV), Cr(V), Cr(VI). **Manganese** - Chimica del Mn(0) - Mn(I) - Mn (II) - Mn(III) - Mn(IV) - Mn(V) - Mn(VI) e Mn(VII). **Ferro** - Metallurgia - Acciai - Ossidi e idrossidi - Alogenuri e solfuri - Composti di coordinazione - Stati di ossidazione Fe(IV) e Fe(VI) - Introduzione agli enzimi e bioinorganica.

Cobalto - Stati di ossidazione e stereochimica - Chimica del Co(I) - Co(II) - Co(III). Nichel - Stati di ossidazione e stereochimica - Chimica del Ni(II) e Ni(III). Rame - Stati di ossidazione e stereochimica - Chimica del Cu(I) - Cu(II).

Elementi della II e III serie di transizione - Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W, Ru, Os, Rh, Ir, Pd, Pt, Ag, Au. Cenni sui Lantanidi e Attinidi. Meccanismi di reazioni inorganiche e organometalliche - catalisi.

Nel trattamento della chimica dei vari elementi sono approfonditi aspetti di Chimica Generale trattati nel corso di Chimica (struttura, legami, equilibri omogenei ed eterogenei, cinetica, termodinamica, reazioni acido-base e redox).

*Esercitazioni:* Esercitazioni su bilanci di massa in equilibri multipli e sulla previsione di reazioni inorganiche (15 ore) affiancano 10 sperimentazioni di laboratorio (40 ore) su temi di Chimica Generale con esempi di preparazione di composti inorganici, di analisi qualitativa e quantitativa, di tecniche di separazione ed identificazione strutturale. Sono forniti cenni sulla tossicità e pericolosità dei composti chimici e sulle normative di sicurezza di laboratorio.

#### *Modalità d'esame*

La valutazione si basa su di un esame scritto e orale relativo alla materia del corso e delle esercitazioni sperimentali.

#### *Libri consigliati*

N.N. Greenwood, A. Heamshaw: *La chimica degli elementi*, Piccin Nuova Libreria, Padova.

F. A. Cotton, G. Wilkinson: *Advanced Inorganic Chemistry*, 5th edizione, Editore J. Wiley, 1988.

G. Wulfsberg: *La moderna Chimica Inorganica: previsioni di reattività*, Edizioni Sorbona, Milano, 1993.

## CHIMICA INDUSTRIALE

AF0006

Prof. Italo PASQUON

#### *Programma d'esame*

### PARTE GENERALE

Caratteristiche dell'industria chimica; linee di produzione; aspetti economici; principi fondamentali per lo studio, la realizzazione e la condotta dei processi chimici industriali.

**Linee di produzione, aspetti economici, sicurezza.** Produzioni. Dati statistici. L'industria chimica italiana: confronto con altri paesi. Principali materie prime e linee di produzione dell'industria inorganica, organica e petrolchimica. Nocività e igiene ambientale. Inquinamento e metodi di depurazione. Criteri di sicurezza. Miscele esplosive e cause di innesco. Stabilità dei sistemi chimici. Esplosioni termiche. Esplosioni fisiche. Incompatibilità tra sostanze. Generalità sul cedimento dei materiali per corrosione. Grandi rischi.

**Applicazioni della termodinamica alle reazioni della grande industria chimica.** Valutazioni di grandezze termodinamiche per sostanze organiche e inorganiche e per loro miscele, ideali e non. Applicazione delle entalpie libere di formazione al calcolo delle rese termodinamiche e alla scelta delle condizioni operative. Impiego di diagrammi di stato nel calcolo delle rese.

**Applicazioni della cinetica e della catalisi alle reazioni della grande industria chimica; reattori.** Richiami sulle principali grandezze, definizioni e relazioni di tipo cinetico. Caratteristiche cinetiche dei sistemi chimici in evoluzione. Deduzione delle equazioni di velocità. Attivazione delle reazioni. Catalisi e catalizzatori industriali: adsorbimento, principali classi di catalizzatori, loro caratteristiche e campi di impiego. Cenni sulla applicazione dei dati cinetici al calcolo dei reattori. Principali tipi di reattori industriali e criteri di scelta.

**Caratteristiche e criteri di scelta dei metodi di separazione e di purificazione.** Fattori che condizionano i metodi di separazione. Principali classi di liquidi e tipi di equilibri fisici. Equazione generale degli equilibri liquido vapore. Principali metodi di separazione, frazionamento e purificazione e loro campi di impiego.

**PARTE SPECIALE**

Esempi tipici di processi attuali e di produzioni dell'industria chimica. Dei singoli processi gli allievi dovranno sapere giustificare, in modo critico, le scelte operative, sulla base di fattori termodinamici, cinetici, fisico-tecnici, impiantistici, economici, ambientali e di sicurezza. Questa parte è da considerarsi come esemplificativa degli aspetti tecnologici di processi tipici dell'industria chimica.

**Azoto e ossigeno:** esempio di processo di frazionamento criogenico.

**Gas di sintesi da idrocarburi.**

**Industria dell'azoto e dei fertilizzanti azotati:** ammoniaca; acido nitrico; generalità sui fertilizzanti e loro impiego; solfato ammonico; nitrato ammonico; urea.

**Fertilizzanti fosfatici, potassici e complessi:** generalità su: acido fosforico per via umida, perfosfati, polifosfati d'ammonio, fertilizzanti potassici e fertilizzanti complessi. Esempio di processo di flottazione.

**Industria dello zolfo.** Acido solforico; zolfo da idrogeno solforato.

**Processi al forno elettrico:** generalità su: fosforo e acido fosforico.

**Processi elettrochimici e industria degli alcali e degli alogeni:** carbonato sodico; acido cloridrico; acido fluoridrico; cloro e soda.

**Processi biotecnologici:** generalità, esempi: alcool etilico, alcool etilico assoluto, penicilline, sciroppi zuccherini, trattamento acque.

**Processi fotochimici:** generalità, esempi: perfluoropolietere.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono in un periodo di internato volontario presso i laboratori dell'Istituto di Chimica Industriale e nello svolgimento di esercizi riguardanti argomenti di termodinamica applicata e di cinetica applicata e calcoli di bilanci termici e materiali di processi della grande industria chimica.

*Libri consigliati*

*Principi della Chimica Industriale, voi 1:* G. Natta, I. Pasquon; *voi 2:* G. Natta, I. Pasquon, P.

Centola; *voi. 3:* I. Pasquon, G. F. Guerreri, CittàStudi; *voli. 4 e 5:* I. Pasquon, G.F. Pregaglia, CittàStudi.

I. Pasquon, L. Zanderighi, *La chimica verde*, HOEPLI.

I. Pasquon: *Chimica Industriale I Lezioni*, CittàStudi.

Per l'eventuale approfondimento di taluni argomenti il Professore consiglierà durante le lezioni alcuni testi e riviste specializzate disponibili presso la biblioteca del Dipartimento di Chimica Industriale ed Ingegneria Chimica "Giulio Natta".

**CHIMICA INDUSTRIALE ORGANICA****AF0108****Prof. Adolfo ZAMBELLI***Programma d'esame***Parte generale.**

Dati statistico-economici relativi all'industria chimica organica in Italia e nel mondo. Materie prime, principali linee produttive e orientamenti dell'industria chimica organica. Catalisi omogenea e catalisi eterogenea nell'industria chimica organica. Criteri generali per la separazione di miscele mediante rettifica, distillazione azeotropica, distillazione estrattiva, assorbimento, adsorbimento, cristallizzazione, estrazione. Criteri di sicurezza. Miscele esplosive. Problemi di inquinamento. Il petrolio come fonte di materie prime per l'industria organica. Cracking termico, cracking catalitico.

**Parte speciale.**

Acetilene da idrocarburi. Olefine e diolefine da "steam cracking". Aromatici dal petrolio: reforming catalitico; separazione aromatici/alifatici; separazione della frazione aromatica C8. Acetaldeide da etilene. Acido acetico da acetaldeide, da idrocarburi e da metanolo. Idroformilazione delle olefine. Formaldeide. Acrilnitrile da propilene. Ossido di etilene e ossido di propilene. Cloruro di vinile da etilene, reazione di ossiclorurazione. Reazioni di alchilazione: etilbenzene, isopropilbenzene da benzene. Stirene. Fenolo. Anidride ftalica, anidride maleica. Sintesi industriale dei polimeri attraverso policondensazione, polimerizzazione radicalica, cationica, anionica e con catalizzatori organometallici.

*Esercitazioni*

Riguardano quantificazione di schemi di processo e un esempio di preparazione della chimica fine.

*Libri consigliati*

Kirt-Othmer: *Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley.

Ullmann's: *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, VCH.

**CHIMICA MACROMOLECOLARE****000851****Prof. Giuseppe TIEGHI***Programma d'esame*

Concetto di macromolecola. Strutture e sintesi macromolecolari, polimeri. Teoria unitaria dei processi di polimerizzazione: monomeri, reazioni di base, polireazioni. Classificazione generale dei processi di polimerizzazione. Principi per la trattazione sistematica della struttura delle macromolecole. Ordine e regolarità di struttura. Analisi strutturale ai vari livelli di caratterizzazione: composizione, costituzione, configurazione e conformazione. Distribuzione dei pesi molecolari e pesi molecolari medi. Proprietà fisiche caratteristiche dei materiali macromolecolari. Relazioni fra proprietà e struttura. Modelli ed equazioni di comportamento fisico-meccanico; elasticità entalpica ed entropica, viscoelasticità. Stati fisici e transizioni. Cristallinità e morfologia cristallina. Termodinamica di miscele e soluzioni con componenti macromolecolari. Miscele polimero-polimero. Frazionamento dei polimeri. Caratterizzazioni macromolecolari in soluzione diluita; determinazione sperimentale di massa, forma e dimensioni di macromolecole. Osmometria, viscosimetria, fotodiffusimetria, cromatografia. Processi di polimerizzazioni: aspetti termodinamici, cinetici e di conduzione di processo. Policondensazioni bifunzionali e polifunzionali. Poliaddizioni radicaliche, cationiche, anioniche ed anioniche coordinate. Copolimerizzazioni statistiche e preordinate. Reazioni dei composti macromolecolari: depolimerizzazione, degradazione e modifica.

*Esercitazioni*

Verranno trattati alcuni argomenti relativi al programma d'esame, con dimostrazioni pratiche presso laboratori specializzati.

*Libri consigliati*

F. Danusso: *Chimica macromolecolare*, CLUP, 1980.

Per gli argomenti non compresi nel testo vengono fornite dispense. Si consiglia di utilizzare appunti presi durante le lezioni. Per integrazioni ed approfondimenti possono essere utili i seguenti testi (disponibili presso la biblioteca del Dipartimento di Chimica Industriale e Ingegneria Chimica):

P.J. Flory: *Principles of Polymer Chemistry*, Cornell University Press, Ithaca, New York, 1953.

G. Champetier-L. Monnerie: *Introduction à la Chimie Macromoléculaire*, Masson, Paris, 1969.

F.W. Billmeyer: *Textbook of Polymer Science*, J. Wiley & Sons, 1984 (3rd Ed.).

AIM: *Macromolecole: Scienza e Tecnologia*, Voli. I e II (a cura di F. Ciardelli et al.), Pacini Editore, Pisa, 1986.

**CHIMICA METALLURGICA**  
**Prof. Pietro Luigi CAVALLOTTI****AE0004***Programma d'esame***1 - Introduzione all'industria metallurgica di produzione.**

Cenni su minerali e loro trattamento. Processi di estrazione, fusione e riciclo dei metalli. Considerazioni tecnico-economiche sulle produzioni dei principali metalli.

**2 - Bilanci di materia e di energia.**

Impostazione dei bilanci per impianti industriali produttivi, con esempi applicativi.

**3 - Equilibri chimici in sistemi metallurgici.**

Equilibri in sistemi metallurgici produttivi. Atmosfere controllate e trattamenti termochimici.

**4 - Fenomeni di trasporto in sistemi metallurgici.**

Movimentazione di liquidi. Efflusso di metalli liquidi da recipienti. Trasporto di calore. Colata continua dei metalli. Trasporto di massa. Diffusione. Riduzione di ossidi metallici. Ossidazione e corrosione a caldo di materiali metallici.

**5 - Reattoristica metallurgica.**

Reattori ideali. Reattori reali e loro schematizzazione con reattori ideali. Reattore a letto mobile, riduzione diretta del ferro. Reattore a letto fluido, arrostimento di solfuri. Reattori gas-liquido, clorurazione di solfuri metallici.

**6 - Impianti metallurgici produttivi.**

Operazioni a stadi ed in continuo. Trattamento degli effluenti gassosi e liquidi. Servizi generali. Recupero energetico. Controllo e automazione.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una discussione su un processo ed un impianto di interesse metallurgico, in cui vengono applicate le nozioni generali oggetto del corso di lezioni ed esercitazioni.

*Libri consigliati*

Dispense di lezione.

**CHIMICA ORGANICA**  
**Prof. Claudio FUGANTI****AD0002***Programma d'esame*

Generalità sulle sostanze organiche. Legame covalente, polarità dei legami. Forze intermolecolari. Effetti elettronici e sterici.

Analisi elementare. Formula minima, formula molecolare, formula di struttura. Isomeria. Relazione tra struttura e proprietà delle sostanze.

Meccanismo di reazione: reazioni ioniche e radicaliche. Velocità di reazione. Energia di attivazione. Influenza della temperatura e del solvente sul decorso della reazione. Classificazione dei composti organici. Nomenclatura.

Alcani. Fonti di idrocarburi. Reazioni.

Alcheni. Isomeria geometrica. Preparazione degli alcheni. Reazioni di addizione al doppio legame. Reazioni ioniche e radicaliche. Reattività dell'idrogeno allilico. Risonanza.

Alchini. Preparazione. Reazioni. Acetilene. Acetiluri. I più importanti prodotti industriali derivati dall'acetilene.

Dieni. Reattività dei dieni coniugati. Polimerizzazione. Addizione 1,2 e 1,4. Cicloaddizione.

Idrocarburi aliciclici. Reazioni.

Benzene, carattere aromatico, risonanza.

Sostituzione elettrofila aromatica. Influenza attivante o disattivante e orientante dei sostituenti presenti nell'anello.

Idrocarburi aromatici. Preparazione e produzione industriale. Reazioni.

Alogenuri alchilici. Reazioni di sostituzione nucleofila - Reazioni di eliminazione. Alogenuri di alchil-magnesio.

Alcooli. Preparazione e produzione industriale. Reazioni. Glicoli. Glicerolo.

Eteri. Epossidi e altri eteri ciclici.

Acidi monocarbossilici. Preparazione e produzione industriale. Reazioni.

Acidi bicarbossilici - Preparazione e produzione industriale. Reazioni. Sintesi maionica.

Alogenuri acilici. Anidridi degli acidi. Ammidi. Esteri. Grassi, saponi, detergenti.

Derivati funzionali dell'acido carbonico e dell'acido formico: urea, uretani, fosgene, clorocarbonati, acido cianidrico, acido cianico, cianammide.

Aldeidi e chetoni. Preparazione e produzione industriale. Reazioni di addizione nucleofila.

Ossidazione e riduzione,  $\alpha$ -alogenazione. Condensazione aldolica e reazioni correlate.

Chetoacidi. (3 -chetoesteri, sintesi di Claisen. Sintesi acetacetica di acidi e di chetoni.

Idrossiacidi. Lattoni.

Animine alifatiche e aromatiche, preparazione. Reazione delle ammine. Sali di diazonio e loro reazioni.

Fenoli. Acidità dei fenoli. Preparazione e produzione industriale. Reazioni.

Alogenuri arilici e loro reazioni. Sostituzione nucleofila aromatica.

*Esercitazioni*

Nel corso dell'anno gli studenti svolgeranno esercitazioni di laboratorio inerenti la preparazione di composti organici ed esercitazioni in aula sulla analisi e sintesi di composti organici.

*Modalità d'esame*

La valutazione sarà fatta sulla base di un esame sulla materia del corso e delle esercitazioni, tenendo conto anche del profitto mostrato durante le esercitazioni, accertato mediante colloqui, relazioni o altre prove svolte durante l'anno.

*Libri consigliati*

Il programma del corso può essere svolto su qualunque testo a livello universitario, tra i quali si citano:

R.T. Morrison e R.N. Boyd: *Chimica organica*, ed. Ambrosiana.

R. Fusco-G. Bianchetti e V. Rosnati: *Chimica organica*, ed. Guadagni, MI.

G. Bianchetti-V. Rosnati: *Fondamenti di chimica organica*, ed. Guadagni, MI.

G. Marc Loudon: *Organic Chemistry*, ed. Addison-Wesley. Pub. Co.

R.J. Fessenden e J.S. Fessenden: *Chimica organica*, ed. Piccin, PD.

D.S. Kemp e F. Velaccio: *Chimica organica*, ed. Zanichelli, BO.

Può risultare utile la consultazione di: P. Sykes: *A Guidebook to Mechanism in Organic Chemistry*, ed. Longman. Per le esercitazioni di laboratorio vengono fornite indicazioni specifiche di volta in volta. Una ampia raccolta di esercitazioni di laboratorio, con norme dettagliate per l'esecuzione delle reazioni, la preparazione di solventi e reattivi speciali, nonché istruzioni varie per operare correttamente in laboratorio, è pubblicata in: A.I. Vogel *Chimica organica pratica*, ed. Ambrosiana, Milano.

*Nota agli studenti*

Si raccomanda allo studente di evitare l'apprendimento mnemonico delle proprietà dei composti e di più o meno lunghe serie di reazioni che conducono alla loro formazione, ma di porre invece la massima cura ad individuare in ogni caso i fattori che determinano le predette proprietà e che governano le reazioni.

L'elevatissimo numero di reazioni che si incontrano in chimica organica, si riducono in realtà a pochi tipi fondamentali di reazioni che si svolgono secondo un numero limitato di meccanismi. La base di un corretto procedimento di studio è costituita dalla conoscenza della natura dei legami chimici e dall'apprendimento dei meccanismi di reazione.

Presupposto indispensabile è pertanto la buona conoscenza degli argomenti trattati nel corso di Chimica ed assai utile è lo sviluppo che di questi viene dato nel corso di Chimica II.

**CHIMICA ORGANICA****000890**

(per gli allievi di Ingegneria Meccanica, orientamento Energetico-Idrocarburi)

**Prof. Claudio FUGANTI***Programma d'esame*

Articolazioni e finalità della chimica organica. I legami nei composti organici: conseguenze sulla reattività. Presentazione dei composti organici: gruppi funzionali, nomenclatura, rappresentazione delle strutture. Alcani e cicloalcani: struttura e reattività. Metanolo ed etanolo. Alcoli in generale. Sistemi contenenti doppi legami carbonio-carbonio: struttura, nomenclatura e preparazione. Le reazioni degli alcheni. Alogenoderivati degli idrocarburi: ottenimento e reattività. Reazioni di eliminazione e sostituzione. Eteri ed epossidi. Organometallici. Alcadieni e alchini. Benzene e derivati. Aldeidi e chetoni. Animine. Acidi carbossilici e derivati. Polimeri sintetici ottenuti per addizione e per condensazione. Resine epossidiche.

Gli alcani e gli isomeri degli alcani. Isomeria e stabilità. Gli alcani in natura: il petrolio. Proprietà degli alcani. Cracking e reforming: prodotti e aspetti meccanicistici ed energetici. Metano, etano ed etilene: struttura e reattività. Preparazione e impieghi industriali degli alcheni. Dieni. Fonti di idro-

carburi aromatici. Reattività degli idrocarburi aromatici. La riduzione dei composti aromatici. Analitica e spettroscopia degli idrocarburi. Metabolismo degli idrocarburi in organismi viventi.

#### *Esercitazioni*

Sviluppi degli argomenti trattati nel corso. Analisi e calcoli su problemi specifici.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale

#### *Libri consigliati*

Appunti alle lezioni e libri specifici indicati dal docente.

## **CHIMICA ORGANICA II** **Prof. Francesco MINISCI**

**AD0102**

#### *Programma d'esame*

### **MECCANISMI DELLE REAZIONI ORGANICHE.**

- Metodi per determinarli - Correlazioni tra struttura e reattività - Cinetica e termodinamica - Postulato di Hammond - Equazione di Hammett.

### **OSSIDAZIONE DELLE SOSTANZE ORGANICHE CON OSSIGENO.**

Autossidazione - Antiossidanti - Catalisi.

### **METODI SELETTIVI DI OSSIDAZIONE E RIDUZIONE DEI COMPOSTI ORGANICI. STEREOCHIMICA.**

Struttura e simmetria nelle molecole organiche - Geometria dei legami nelle molecole organiche - Principali gruppi di simmetria a cui appartengono le molecole organiche - Molecole dissimetriche e asimmetriche - Tipi di deformazioni molecolari ed energie connesse (spec. torsione) - Modelli molecolari.

Stereoisomeria - Tipi di isomeria strutturale, relazioni enantiomeriche e diastereoisomeriche - Attività ottica e sua origine - Variazione dell'attività ottica con la lunghezza d'onda, effetto Cotton - Purezza ottica - Relazione tra attività ottica e struttura, concetto di chiralità - Diastereoisomeri - Racemi - Racemizzazione - Stereoisomeria torsionale: isomeri conformazionali, conformazioni del cicloesano, atropoisomeria - Stereoisomeria dovuta ad atomi asimmetrici - Configurazione - Nomenclatura configurazionale - Isomeria torsionale in presenza di atomi asimmetrici: metilcicloesani e decaline - Cenno alla stereoisomeria nelle macromolecole: strutture primaria e secondaria - Separazione di enantiomeri e diastereoisomeri - Sintesi asimmetriche - Risoluzione cinetica - Configurazione assoluta e sua determinazione - Correlazione configurazionale con metodi chimici.

(F.D. Gunstone *Introduzione alla Stereochimica* - Zanichelli)

### **CARBOIDRATI.**

Definizione e classificazione - Monosaccaridi - Struttura e configurazione del glucosio e fruttosio - Mutarotazione, Glucosidi - Disaccaridi: maltosio, cellobiosio, saccarosio - Polisaccaridi - Amido, amilosio, amilopectina - Funzione ed importanza in natura dell'amido e della cellulosa: loro utilizzazione industriale.

(R.T. Morrison e R.N. Boyd - *Chimica Organica* - Ambrosiana)

**AMMINOACIDI E PROTEINE.**

Struttura e configurazione degli amminoacidi naturali - Preparazione e reazione degli amminoacidi - Peptidi - Proteine: Metodi di indagine strutturale, metodi di sintesi, conformazione delle catene peptidiche. Bioproteine.

(R.T. Morrison e R.N. Boyd - *Chimica Organica* - Ambrosiana)

Lo studente interessato a maggiori informazioni può consultare K.D. Kopple - "*Peptides and aminoacids*" - Benjamin, New York 1966.

**ENZIMI.**

Caratteristiche delle reazioni enzimatiche. Cinetica. Uso degli enzimi nella sintesi organica. Specificità di substrato. Enantio-selettività. Ossido-riduttasi. Idrolasi. Applicazioni industriali.

**COMPOSTI AROMATICI AD ANELLI CONDENSATI.**

Classificazione, nomenclatura - Naftalene, struttura, reattività, derivati - Antracene e fenantrene: struttura, reattività, derivati, sintesi - Fonti industriali di questi composti.

(R.T. Morrison e R.N. Boyd - *Chimica Organica* - Ambrosiana)

**COMPOSTI ETEROCICLICI.**

Classificazione, nomenclatura - Composti eteroaromatici: furano, pirrolo, tiofene, piridina, chinolina, isochinolina: struttura, reattività, principali metodi di sintesi, fonti industriali - Composti eterociclici saturi.

(G. Illuminati e E. Baciocchi - *Composti eterociclici* - Veschi 1970)

**FONTI DELLA LETTERATURA CHIMICA E NOMENCLATURA.**

Fonti della letteratura chimica - Trattato di Beilstein e Chemical Abstracts e loro consultazione - Nomenclatura chimica organica: regole più semplici relative ai composti alifatici, aromatici ed eterociclici.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni comprendono: problemi di Chimica Organica, esercizi di Analisi Spettrale ed uso della letteratura chimica.

*Libri consigliati*

I libri consigliati per i diversi argomenti sono indicati alla fine del rispettivo paragrafo.

**CINETICA CHIMICA APPLICATA (1/2 annualità)****000854**

(orientamento energetico-idrocarburi)

**Prof. Renato ROTA***Programma d'esame***Cinetica delle reazioni chimiche in fase omogenea**

Definizione e misura della velocità di reazione. Influenza della temperatura. Bilanci di materia ed energia in sistemi reagenti. Struttura dei sistemi reagenti: reazioni consecutive, simultanee, complesse. Reazioni radicaliche. Approssimazione dell'intermedio stazionario e dello stadio lento. Meccanismo delle reazioni elementari. Teoria delle collisioni. Teoria del complesso attivato.

**Cinetica delle reazioni chimiche in fase eterogenea**

Reazioni eterogenee: gas-solido, gas-liquido e liquido-solido. Reazioni catalitiche. Meccanismo delle reazioni catalitiche e non. Proprietà fisiche di un catalizzatore. Adsorbimento sulla superficie di un solido. Isotherme di adsorbimento fisico. Chemiadsorbimento.

### **Interpretazione dei dati cinetici di laboratorio.**

Reattori di laboratorio. Dati cinetici e loro interpretazione. Meccanismi dettagliati e globali.

#### *Esercitazioni*

Durante l'anno vengono svolte esercitazioni di calcolo a illustrazione e complemento degli argomenti trattati nel corso.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale

#### *Libri consigliati*

S. Carrà, M. Morbidelli, *Chimica Fisica Applicata*, Hoepli (1982)

## **COMBUSTIONE E GASDINAMICA DELLE MACCHINE**

**AK0123**

**Prof. Carlo ORTOLANI**

#### *Programma d'esame*

- 1. Chimica della combustione.** Cinetica chimica. Ordine di reazione e molecolarità, velocità di reazione; reazioni semplici, dirette, simultanee, a catena. Teorie della velocità di reazione. Limiti di esplosione.
- 2. Termodinamica chimica.** Calcolo della temperatura adiabatica di fiamma e della composizione di equilibrio dei gas combusti.
- 3. Fondamenti di combustione omogenea ed eterogenea.** Processi di ignizione. Combustione laminare e turbolenta, detonazione e deflagrazione, fiamme premiscelate e diffusive. Meccanismi di propagazione dell'onda di combustione. Estinzione. Stabilizzazione della fiamma.
- 4. Combustione degli idrocarburi.** Ossidazioni a bassa e ad alta temperatura.
- 5. Inquinamento dovuto a fenomeni di combustione.** Formazione degli ossidi di azoto, del monossido di carbonio, dell'anidride carbonica, degli idrocarburi incombusti e dei composti dello zolfo.
- 6. Fenomeni di inquinamento da autoveicoli e legislazione relativa.** Sistemi di alimentazione. Ricircolazione del gas di scarico, reattori termici e catalitici, motori a carica stratificata a camera singola e doppia. Determinazione del rapporto di miscela. Combustibili alternativi. Comportamento, in relazione alle emissioni allo scarico, del motore Wankel, del motore a due tempi ad accensione comandata per impiego motociclistico, del motore Diesel per autotrazione e legislazione relativa.
- 7. Termodistruzione e legislazione relativa.**
- 8. Applicazioni industriali della combustione.**
- 9. Combustioni accidentali.**

#### *Libri consigliati*

C. Ortolani, *Combustione: fondamenti e applicazioni*, CittàStudi, Milano 1994.

C. Ortolani, *Il crollo dell'ospedale di Parma*, Masson, Milano 1994.

U. Ghezzi, C. Ortolani: *Combustione e inquinamento*, Tamburini, Milano 1974.

L. N. Khitrin: *The Physics of Combustion and Explosion*, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem 1962.

**COMBUSTIONE NEI SISTEMI PROPULSIVI**  
**Prof. Luciano GOLFETTI**

**000833**

*Programma d'esame*

**1. Fondamenti di combustione.**

Rassegna di concetti propedeutici allo studio dei processi di combustione.

Elementi di termodinamica chimica e di cinetica chimica.

Onde di deflagrazione e di detonazione.

Struttura di fiamma.

Fiamme turbolente.

Combustione eterogenea.

Strati limite chimicamente reagenti.

Teorie di ignizione.

Combustione supersonica.

Impatto ambientale di processi di combustione.

**2. I processi di combustione nei sistemi propulsivi aeronautici e spaziali.**

Quadro dei sistemi propulsivi di interesse aerospaziale. Aspetti energetici ed impiantistici dei processi di combustione in applicazioni di propulsione chimica. Parametri di prestazione e rendimenti.

**2a. Motori a combustione interna alternativi.**

I processi di combustione nei motori a ciclo Otto e a ciclo Diesel. Criteri di progetto e prestazioni.

Problemi specifici dell'applicazione aeronautica.

**2b. Turboreattori.**

Principi di funzionamento, criteri di progetto e prestazioni. Tipologie della camera di combustione.

Atomizzazione del combustibile, dispositivi di ignizione, stabilizzazione della fiamma, raffreddamento del combustore.

**2c. Ramjets.**

Architettura della camera di combustione. Funzionamento e prestazioni.

**2d. Scramjets.**

Problemi specifici della combustione supersonica. Soluzioni impiantistiche adottate. Problemi aperti.

**2e. Endoreattori.**

Processi di combustione e loro correlazione con il sistema propulsivo in endoreattori a propellente liquido e a propellente solido.

**3. Simulazione numerica dei processi di combustione.**

Le equazioni di governo di sistemi reagenti multicomponenti. Analisi delle equazioni. Aspetti numerici nella simulazione di flussi reagenti. Modellistica della turbolenza. Modellistica del trasporto radiante. Modellistica dei flussi multifase. Approfondimento di codici numerici rivolti alla simulazione di processi di combustione in sistemi di propulsione aerospaziale.

*Esercitazioni*

Sono previste esercitazioni in laboratorio ed esercitazioni a carattere numerico.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in un colloquio orale.

*Testi consigliati*

- I. Glassman: *Combustion*, Academic Press, New York, 1977.  
 K.K. Kuo: *Principles of Combustion*, John Wiley and Sons, New York, 1986.  
 F.A. Williams: *Combustion Theory*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1985.  
*Gas Turbine Combustion*, von Karman Institute for Fluid Dynamics, Lecture Series 1990-02, 1990.  
 E.S. Oran, J.P. Boris: *Numerical Simulation of Reactive Flow*, Elsevier, New York, 1987.

**COMPONENTI E CIRCUITI OTTICI****000883****Prof. Mario MARTINELLI***Programma d'esame***Materiali e componenti ottici**

I principali materiali ottici. Proprietà rifrattive, assorbitive e dispersive: lenti, GRIN, prismi, filtri e specchi. Proprietà di birifrangenza: lamine ritardatrici, polarizzatori e analizzatori. Proprietà elasto-ottiche: componenti e modulatori di tipo elasto-ottici e acusto-ottico. Proprietà elettro-ottiche: modulatori elettro-ottici. Proprietà magneto ottiche: rotatori ed isolatori.

Strutture a confinamento quantico: Multiple Quantum Wells e Quantum Dots. Componenti attivi confinati: sorgenti laser a 1.3  $\mu\text{m}$  e 1.5  $\mu\text{m}$ , rivelatori, modulatori, filtri e SEED.

L'equazione delle onde. Soluzione in propagazione libera. Soluzione per strutture dielettriche a simmetria cilindrica: i modi e il cutoff. La classificazione dei modi: trattazione rigorosa. Soluzione debolmente guidata: i modi LP. La rappresentazione dei modi di propagazione. Il problema dell'accoppiamento modale e l'equazione delle onde accoppiate. Accoppiatori in fibra. Accoppiatori WDM. Reticoli in fibra: principi di funzionamento e applicazioni. Guide d'onda rettangolari piane: slab e strip. Componenti in ottica integrata: accoppiatori, Y-branch e filtri.

**Tecnologie ottiche**

Tecnologia di produzione delle fibre ottiche. Preparazione delle fibre ottiche speciali. Produzione di reticoli in fibra ottica. I cavi ottici: tecnologia di produzione, caratterizzazione ed installazione. Le tecniche di connessione: i connettori ottici e la tecnologia dello "splicing". La produzione di accoppiatori a fibra ottica.

Tecnologie di ottica integrata: principi generali. La tecnologia del Niobato di Litio e la fabbricazione di componenti passivi ed attivi. La tecnologia vetro su silicio. Le tematiche di packaging. La tecnologia dei film sottili. Tecniche di produzione e caratterizzazione di componenti ottici a film sottili. Le tecnologie epitattiche per la crescita dei materiali. Tecniche di tipo MBE per la produzione di materiali e componenti optoelettronici.

**Circuiti ottici per la commutazione e l'elaborazione dei segnali**

Misura di attenuazione e dispersione di fibre ottiche. Le tecniche di optical time-domain reflectometry. L'analizzatore di spettro ottico: spettro e coerenza delle sorgenti ottiche.

La commutazione nelle reti ottiche. Sistemi avanzati di commutazione completamente ottica. Commutazione ottica guidata. Commutazione ottica in propagazione libera.

Principi di elaborazione ottica. Correlatori ottici. La memorizzazione di dati per via ottica. Memorie ottiche di massa. Nuovi sviluppi nella memorizzazione ottica.

Sistemi di misura a fibra ottica: i sensori coerenti. Principi ed applicazioni.

*Visite e Laboratorio.*

Durante il Corso verranno organizzate visite guidate presso importanti Aziende operanti nel settore delle comunicazioni ottiche nell'area di Milano. Saranno inoltre organizzate dimostrazioni di laboratorio del funzionamento di alcuni dispositivi e circuiti ottici trattati a lezione.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una breve prova scritta seguita da un colloquio.

*Testi consigliati (elenco provvisorio)*

A. Yariv and P. Yeh: *Optical Waves in Crystals*, Wiley, 1984

R. Syms and J. Cozens: *Optical Guided Waves and Devices*, Me Graw-Hill, 1992

**COMPONENTI E TECNOLOGIE ELETTRICHE****000859****Prof. Franco PARDINI***Programma d'esame*

Il corso tratta la teoria, la costruzione, l'applicazione degli apparecchi elettromeccanici.

**Parte I - Materiali** (caratteristiche - applicazioni).

Materiali da costruzione specificamente utilizzati negli apparecchi elettrici:

- materiali isolanti (materiali plastici, ceramici, olii);

**- contatti elettrici;**

- bimetalli;

**- materiali magnetici;**

Natura, composizione, proprietà, caratteristiche tecniche.

Dati e tabelle di utilizzazione.

**Parte II - Interruttori.**

Concetto, definizione, funzione specifica dell'interruttore - Chiusura e interruzione di circuiti mediante "l'interruttore ideale" - Correnti e tensioni transitorie nel punto di installazione dell'interruttore causate dalla sua operazione - Legge generale di svolgimento dei fenomeni - Circuiti a resistenza e induttanza, a resistenza e capacità, a resistenza, induttanza e capacità.

**Concetto di grandezza caratteristica nominale** (di un apparecchio) - **Grandezze e parametri caratteristici dell'interruttore: definizioni e prove per la loro assegnazione.**

Cenno sull'evoluzione dei mezzi d'interruzione di un circuito elettrico.

**La scarica elettrica nei gas** - Scarica non autoalimentata e scarica autoalimentata.

**L'arco elettrico:** struttura, proprietà fisiche, bilancio energetico - Processi ionizzanti e deionizzanti. Interruzione di circuiti ohmici, induttivi e capacitivi, in corrente continua e in corrente alternata.

**Mezzi impiegati per facilitare l'interruzione dell'arco:** interruzione in bassa tensione, in media tensione, in alta tensione - **Strutture tipiche dell'interruttore.**

**Parte III - Apparecchi di Manovra** - Concetto e funzioni dell'apparecchio di manovra.

Apparecchi di manovra ausiliari e principali.

**Il contattore** quale apparecchio tipico di manovra - Grandezze e parametri caratteristici - Struttura e tipi costruttivi - Categorie di applicazione.

**L'elettromagnete** quale organo di azionamento a distanza, di azionamento e misura nel contattore, nei relè, negli interruttori - Bilancio energetico nell'elettromagnete e procedimento grafico generale per la valutazione della forza sviluppata - Analisi e calcolo di circuiti magnetici contenenti ferro e

aria - Calcolo delle permeanze dei tratti di circuito in aria fra materiali ad alta permeabilità - Valutazione analitica della forza nell'elettromagnete - Modellamento della curva forza-corsa - Avvolgimento di eccitazione - Forme costruttive dell'elettromagnete e loro applicazione.

Procedimento di calcolo di elettromagneti alimentati in corrente continua e in corrente alternata.

Altri organi di azionamento del contattore (cenni).

Contattori per media tensione (cenni).

Dispositivi a contattore (cenni).

**Parte IV - Relè** (protezioni elettriche).

Concetto e funzioni del relè quale **organo ausiliario o organo di misura e protezione**.

Campi di applicazione - Classificazione, grandezze e parametri caratteristici.

Guasti sugli impianti elettrici e mezzi di prevenzione e protezione impiegati.

**Relè di protezione** Requisiti fondamentali - Struttura - Elemento di misura (organo motore): tipi costruttivi e aspetti funzionali e applicativi, vantaggi e svantaggi dei vari tipi di motore.

Relè a una o più grandezze agenti: organi motori, caratteristiche di funzionamento, elementi di progetto.

Relè direzionali in corrente continua e in corrente alternata.

Equazione generale della forza (o coppia) agente nei relè di protezione.

I contatti elettrici nei relè.

**Categorie di relè protettivi**, principi di funzionamento, applicazioni: relè di sovracorrente, relè a squilibrio di corrente, relè differenziali di corrente, relè direzionali, relè a impedenza (significato di "impedenza vista dal relè" e dei termini di "sovralimite" e "sottolimite") - **Principi di coordinamento selettivo** nella protezione di circuiti in alta e bassa tensione.

#### *Esercitazioni*

Consistono in elementari esercizi applicativi della materia trattata nel corso ed inoltre comprendono il progetto di un apparecchio elettromeccanico. - Sia gli esercizi, sia il progetto sono impostati in collaborazione con il Professore. - Il progetto e gli esercizi selezionati devono ricevere il visto di approvazione da parte del Professore, entro un termine fissato.

#### *Modalità d'esame*

L'allievo deve presentarsi all'esame con il testo del progetto di un apparecchio elettromeccanico e degli esercizi selezionati suddetti, svolti durante le esercitazioni, portando il visto di approvazione. - L'esame è orale.

#### *Libri consigliati*

Sono disponibili le dispense del corso. - Per un maggior approfondimento della materia possono essere consultati i libri segnalati nella prefazione al testo delle dispense.

## **COMUNICAZIONI ELETTRICHE**

**AG0004**

(per gli allievi di Ingegneria Elettronica Elettrica e delle Telecomunicazioni)

**Prof. Guido TARTARA, Emilio MATRICCIANI**

#### *Programma d'esame*

### **1. Metodi di trasmissione.**

**1.1** Modello di sistema di trasmissione. Richiami sui segnali. Il rumore

**1.2** Trasmissione in banda base. Trasmissione con impulsi: interferenza intersimbolica e ricezione in presenza di rumore. Calcolo delle prestazioni.

- 1.3 Rappresentazione numerica dei segnali. Modulazione impulsiva codificata (PCM).
  - 1.4 Trasmissione in banda passante. Metodi di modulazione in trasmissione numerica ed analogica; effetti delle caratteristiche del mezzo trasmissivo e del rumore; confronto tra sistemi di modulazione.
  - 1.5 Segnali ed accesso multiplo: a divisione di frequenza, a divisione di tempo, a divisione di codice.
  - 1.6 Elementi di teoria dell'informazione. Introduzione ai codici per la rivelazione e correzione degli errori.
- 2. Mezzi trasmissivi.**
- 2.1 Mezzi trasmissivi ad onde guidate. Caratteristiche delle linee, diafonia, linee coassiali. Le fibre ottiche.
  - 2.2 Mezzi trasmissivi ad onde irradiate (nello spazio libero, nella troposfera, in presenza di percorsi multipli).
- 3. Sistemi di trasmissione.**
- 3.1 Sistemi radio: ponti radio, sistemi via satellite, sistemi radiomobili.
  - 3.2 Sistemi su fibra ottica.

#### *Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni numeriche e sperimentali.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste di una prova scritta e di una prova orale.

#### *Libri consigliati*

F. Carassa: *Comunicazioni Elettriche*, Ed. Bollati Boringhieri III ed.  
G. Tartara: *Introduzione ai sistemi di comunicazione*, Ed. EtasLibri  
E. Matriccioni: *Comunicazioni Elettriche. Progetti svolti*. Ed. CittàStudi.

#### *Altri testi*

S. Haykin: *Communication Systems*, Ed. Wiley

## **COMUNICAZIONI ELETTRICHE**

**AG0228**

(per gli allievi di Ingegneria Informatica)

**Prof. Stefano TUBARO**

#### *Programma d'esame*

### **1. L'analisi tempo/frequenza dei segnali.**

La serie di Fourier, sue proprietà ed esempi. La trasformata di Fourier e sue proprietà. Rappresentazione di segnali attraverso l'uso di funzioni ortogonali. Autocorrelazione, densità spettrale di potenza. Richiami sui sistemi lineari, convoluzione, funzioni di trasferimento, loro rappresentazione attraverso la trasformata di Fourier. Segnali a banda limitata.

**2. Campionamento e ricostruzione.** La trasformata di Fourier per un segnale campionato, teorema del campionamento. Equivocazione nel tempo e nelle frequenze. Trasformata discreta di Fourier, legami con la trasformata Z. Filtri di ricostruzione. Richiami su: integrale/somma di convoluzione, poli e zeri nel continuo e nel discreto.

**3. Il rumore.** Natura fisica del rumore. Caratteristiche e rappresentazione. Richiami sui processi casuali e sulle loro caratteristiche. Rappresentazione nelle frequenze del rumore, densità spettrale di potenza. Esempi di sorgenti di rumore: termico, elettronico. Temperatura equivalente di rumore di un doppio bipolo.

**4. La trasmissione dell'informazione.** Modello dei sistemi di comunicazione. Informazione e sorgenti. Quantità d'informazione: entropia delle sorgenti. Rappresentazione dell'informazione e codificazione efficiente: codici di Huffman, codici basati su dizionario (Ziv-Lempel). Quantizzazione e codifica di segnali analogici campionati (PCM, DPCM), esempi. Ridondanza statistica e soggettiva. Esempi di segnali: segnale vocale e televisivo. Multiplicazione a divisione di tempo di segnali numerici.

**5. Tecniche di modulazione per la trasmissione.** Cenni sulla modulazione analogica (AM, FM, PM). Sistemi di demodulazione coerenti e non coerenti.

Trasmissione numerica in banda base: il ricevitore ottimo, banda occupata. Tecniche di modulazione numerica. Modulazione di ampiezza, di fase, di frequenza, modulazione composta. Esempi: modem per la trasmissione dati. Relazione fra rapporto segnale/rumore, banda e tempo di trasmissione. Capacità di trasmissione dei canali di comunicazione.

**6. Tecniche di codifica di canale.** Protezione dagli errori nella trasmissione ed in telematica. Rilevazione e correzione degli errori, codici di Hamming. Cenni sui codici a blocchi, codici ciclici e convoluzionali. Cenni di crittografia.

**7. Sistemi di telecomunicazione.** Generalità sui rapporti fisici: sistemi radio (ponti radio, satelliti), sistemi in cavo ed in fibra ottica, loro caratteristiche e campi di applicazione.

Le reti di telecomunicazione. La rete telefonica. Il terminale d'utente, le centrali di commutazione ed i sistemi di trasmissione a lunga distanza. Le reti di comunicazione fra calcolatori. Protocolli e livelli OSI. Esempi di telecomunicazione: le reti a commutazione di pacchetto (X25, Itapac), le reti locali (LAN) e le reti integrate (ISDN).

#### *Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni numeriche, settimanali.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta seguita da una eventuale prova orale.

#### *Libri consigliati*

H. Taub, D.L. Schilling: *Principles of Communications Systems*, Second Edition, Me Graw Hill Book Company.

A.B. Carlson : *Communication Systems*, Me Graw Hill BookCompany.

F. Carassa: *Comunicazioni Elettriche*, Ed. Boringhieri.

## **COMUNICAZIONI OTTICHE**

**AG0234**

**Prof. Mario MARTINELLI**

#### *Programma d'esame*

#### **Principi e componenti della propagazione guidata.**

Principi della propagazione non-guidata e guidata di un segnale luminoso. L'equazione agli autovalori ed il diagramma di dispersione. L'approssimazione a guida debole e l'approssimazione Gaus-

siana. Le fibre ottiche monomodo, condizioni di cut-off e parametri caratteristici. Proprietà attenuative e dispersive delle fibre ottiche.

Aspetti di interfaccia fra propagazione libera e guidata. I reticoli. Risonatori e filtri. Lo stato di polarizzazione e la sua evoluzione in materiali birifrangenti. Sfera di Poincaré.

Introduzione alla rappresentazione quantistica della luce. Proprietà statistiche della luce. L'emissione stimolata. Il meccanismo della amplificazione ottica. Amplificatori di tipo EDFA. La tecnologia degli amplificatori ottici. Laser a fibra attiva.

### **Il sistema di comunicazione ottica.**

Le tecniche di rivelazione diretta e coerente: lo Spettro di Potenza, i contributi di rumore, il Rapporto Segnale/Rumore e la sua evoluzione nel sistema di comunicazione ottica. Confronto fra ricevitore diretto e coerente.

Trasmissione ottica in presenza di amplificatori ottici.

La dispersione di materiale e di guida d'onda ed il suo effetto sulla propagazione di un impulso. Le fibre ottiche a dispersione spostata. Il concetto di banda di una fibra ottica.

I fenomeni ottico-non-lineari di interesse del sistema di comunicazione ottica.

### **Reti ottiche e commutazione ottica.**

Architetture del sistema di comunicazione ottica. Progetto del sistema di comunicazione ottica. Il Bit Error Rate e l'evoluzione del rapporto Segnale/Rumore. La valutazione del Power Budget. Il concetto di Rise-Time Budget.

Rete di trasporto e rete di accesso. Sistemi di multiploazione. La multiploazione ottica a divisione di lunghezza d'onda. L'impiego degli amplificatori ottici nelle reti di telecomunicazioni.

Sistemi di trasporto con propagazione in regime solitonico.

### *Visite e Laboratorio.*

Durante il Corso verranno organizzate visite guidate presso importanti Aziende operanti nel settore delle comunicazioni ottiche nell'area di Milano. Saranno inoltre organizzate dimostrazioni di laboratorio del funzionamento di alcuni dispositivi e circuiti ottici trattati a lezione.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una breve prova scritta seguita da un colloquio.

### *Testi consigliati*

P. E. Green: *Fiber Optic Networks*, Prentice Hall, 1993.

R.M. Gagliardi: *Optical Communications Second Edition* Wiley 1995.

G.P. Agrawal: *Fiber-optic communication System* Wiley 1995.

## **CONTROLLI AUTOMATICI**

**AG0222**

**Prof. Guido GUARDABASSI, Nicola SCHIAVONI**

### *Programma d'esame*

#### **1. Introduzione.**

**1.1** Il problema del controllo.

**1.2** Sistemi di controllo ad anello aperto e ad anello chiuso: incertezza e retroazione. Compensazione di un disturbo.

- 1.3 Aspetti generali. Impostazione "classica" e impostazione "moderna". Scomposizione euristica e disaccoppiamento. Controllo decentralizzato (cenni).
- 1.4 Controllo nell'intorno di una condizione di equilibrio.
- 1.5 Controllo "robusto", adattativo, gerarchico (cenni).
- 1.6 Tecnologia del controllore e strumentazione.
2. **Controllori industriali e metodi empirici.**
- 2.1 Controllori "lineari" di tipo PID.
- 2.2 Controllori non lineari a commutazione.
- 2.3 Metodi empirici per la taratura di parametri.
3. **Teoria classica del controllo: sistemi lineari a tempo continuo.**
- 3.1 Sistemi di controllo semplici (monovariabili). Struttura di base. Valutazione delle prestazioni.
- 3.2 Analisi del comportamento dinamico (forma e durata dei transitori). Stabilità: analisi nello spazio dei parametri, luogo delle radici, criterio di Nyquist, criterio di Bode. Precisione: smorzamento equivalente e rapidità di risposta; disturbi sulla linea d'andata, o su quella di retroazione.
- 3.3 Analisi del comportamento asintotico ("a transitorio esaurito"). Precisione "statica". Disturbi periodici.
- 3.4 Progetto per tentativi "nel dominio della frequenza": struttura libera o vincolata (PID).
- 3.5 Progetto di sistemi di controllo ad architettura complessa. Controllo multivariabile (cenni).
4. **Elementi di controllo digitale.**
- 4.1 Sistemi di controllo a segnali campionati.
- 4.2 Campionamento e tenuta: analisi "nel dominio del tempo o della frequenza".
- 4.3 Realizzazione digitale di controllori analogici. Controllori digitali di tipo PID.
- 4.4 Progetto "a tempo discreto" di controllori digitali.
- 4.5 Controllo multivariabile: elementi di progetto nello spazio di stato (assegnamento dei poli, ottimizzazione parametrica).
5. **Sistemi di controllo non lineari.**
- 5.1 Oscillazioni permanenti; il metodo della funzione descrittiva, il metodo di Zipkin.
- 5.2 Il problema di Lur'e: una condizione necessaria, congetture di Aizerman e di Kalman, criterio di Popov, criterio del cerchio.

#### *Esercitazioni*

A illustrazione e complemento degli argomenti svolti a lezione, è previsto lo svolgimento di esercitazioni.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta seguita da un breve colloquio teso a valutare con maggior precisione, ovunque necessario, il grado di preparazione dell'allievo.

Su esplicita richiesta dell'allievo, l'esame può anche consistere in una prova esclusivamente orale.

#### *Libri consigliati*

G. Guardabassi: *Appunti di controlli automatici*, Città Studi - UTET, 1996.

S. Bittanti, G. Guardabassi: *Controlli Automatici: Esercizi*, CLUP, 1976.

G. Guardabassi: *Controlli Automatici*, Parte I, CLUP, II Ed., 1990.

S. Bittanti, N. Schiavoni: *Modellistica e Controllo*, Voi. II, CLUP, 1979

G. Guardabassi: *Elementi di controllo digitale*, CLUP, II Ed., 1990.

G. Guardabassi: *Sistemi di controllo non lineari: fondamentali*, (in preparazione).

*Per l'approfondimento della materia, possono essere utilmente consultati i testi seguenti:*

- G.F. Franklin, A. Emami-Naeini: *Feedback control of dynamic systems*, Addison-Wesley, 1986.  
 R. C. Dorf: *Modern Control Systems*, Addison-Wesley, 1992 (6ª edizione).  
 K.J. Åström, B. Wittenmark: *Computer controlled systems: theory and design*, Prentice-Hall, 1984.  
 D.P. Atherton: *Nonlinear Control Engineering*, Van Nostrand, 1975.  
 D.D. Siliak: *Nonlinear systems: the parameter analysis and design*, Wiley, 1969.  
 M.G. Singh (Editor): *Systems and control encyclopedia*, Voli. 1-8, Pergamon, 1987.

## **CONTROLLO DEI PROCESSI**

**AG0034**

**Prof. Claudio MAFFEZZONI**

### *Programma d'esame*

1. Funzioni principali e struttura tipica di un sistema per il controllo di un processo industriale. Approccio al progetto di un sistema per il controllo (gerarchico) di un processo a molte variabili regolate.  
Ruolo dell'analisi dinamica.
2. Concetti generali di modellistica dei processi.
3. Fondamenti di modellistica dinamica dei processi a fluido: equazioni fondamentali della termoidraulica a parametri distribuiti e concentrati. Richiami di termodinamica dei processi.
4. Dinamica dei processi a fluido elementari:
  - processi idraulici, con applicazione a problemi di controllo di livello, all'analisi dinamica delle condotte forzate e al funzionamento delle valvole regolanti;
  - processi pneumatici, con applicazione a circuiti costituiti da condotti, valvole, serbatoi, ugelli e macchine rotanti;
  - processi termici monofasi: analisi dell'influenza dei processi di trasmissione del calore sulla dinamica di processo; modellistica e analisi dinamica degli scambiatori di calore, con applicazione a problemi di controllo della temperatura;
  - processi termici bifase: principi di base del moto bifase; applicazione al caso delle cavità.
5. Alcuni casi applicativi:
  - 5.1 Regolazione di velocità delle turbine idrauliche (cenni).
  - 5.2 Analisi dinamica e controllo di ricevitori solari ad alta temperatura (con accento sui fenomeni a fase non minima).
  - 5.3 Analisi dinamica dei generatori di vapore:
    - organizzazione del processo in sottoprocessi e loro interazione;
    - dinamica della pressione e accumulo di energia;
    - dinamica del livello nei generatori a circolazione;
    - dinamica della temperatura (cenni).
  - 5.4 Controllo dei generatori di vapore (con accento sui problemi di disaccoppiamento, compensazione dei disturbi, controllo in cascata, gain scheduling,...):
    - controllo di potenza-pressione: schema caldaia-segue;
    - controllo di livello: schema a tre elementi;
    - controllo di temperatura: schema in cascata.
  - 5.5 Controllo di velocità dei turboalternatori a vapore, con cenni al controllo secondario di frequenza-potenza:
    - obiettivi del controllo e interconnessione nel sistema elettrico;
    - calcolo della potenza meccanica in turbina con ciclo Rankine a risurriscaldamento;

- un modello semplificato della macchina sincrona interconnessa alla rete;
- progetto del regolatore primario di velocità;
- cenni alla regolazione secondaria della frequenza.

#### *Esercitazioni*

Vengono sviluppati alcuni semplici esercizi di modellistica, dinamica e controllo di processi elementari.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta.

#### *Libri consigliati*

Per le parti 1,2:

G. Quazza: *Controllo di Processi*, voi. I, CLUP, Milano, 1979.

Per la parte 3 :

E. Pedrocchi, M. Silvestri: *Introduzione ai fenomeni di trasporto*, CLUP, Milano, 1980.

E. Pedrocchi, M. Silvestri: *Introduzione alla termodinamica tecnica*, CLUP, Milano, 1982.

V. Kecman: *State-space models of lumped and distributed systems*, Springer-Verlag (Lecture Notes in Control and Information Sciences), 1988.

Per la parte 4:

G. Quazza: *Controllo dei processi*, voi. I, CLUP, Milano, 1979.

V. Kecman: *State-space models of lumped and distributed systems*, Springer-Verlag (Lecture Notes in Control and Information Sciences), 1988.

C. Maffezzoni: *Dinamica dei processi bifase: il caso delle cavità*, CLUP, Milano, 1988.

Per la parte 5:

C. Maffezzoni: *Controllo di ricevitori solari ad alta temperatura*, CLUP, Milano, 1987.

C. Maffezzoni: *Dinamica dei generatori di vapore*, Masson, Milano, 1989.

C. Maffezzoni: *Controllo dei generatori di vapore*, Masson, Milano, 1990.

G. Ferretti, C. Maffezzoni: *Controllo di velocità dei turboalternatori*, CLUP, Milano, 1990.

#### *Nota*

Nel corso dell'anno potranno essere disponibili dispense integrative o sostitutive riguardanti alcune parti del corso.

## **CONTROLLO DELLE VIBRAZIONI E DEL RUMORE**

**AR0101**

**Prof. Nicolò BACHSCHMID**

#### *Programma d'esame*

### **1. Vibrazioni meccaniche.**

1.1 Sistemi ad 1 grado di libertà lineari e non lineari.

Moto libero e forzato. Forzanti armoniche, impulsive e periodiche. Forzanti random. Richiami di analisi dei segnali random.

1.2 Sistemi a 2-n gradi di libertà. Analisi modale

1.3 Sistemi continui: Soluzione propagatoria ed onde stazionarie. Analisi modale.

1.3.1 Vibrazioni longitudinali di aste e trasversali di funi.

1.3.2 Vibrazioni flessionali di travi e piastre.

1.3.3 Cenni al metodo degli elementi finiti.

## 2. **Controllo delle vibrazioni.**

2.1 Cause eccitatrici e loro riduzione: equilibramento delle azioni d'inerzia.

2.2 Riduzione della trasmissione delle forze: il concetto della fondazione sospesa (su terreno o sui tasselli elastici).

2.3 Mezzi per ridurre le vibrazioni (in risonanza): modifiche strutturali, introduzioni di smorzamento, assorbitore dinamico. Controllo attivo.

2.4 Misure di vibrazioni e normative.

## 3. **Acustica e sorgenti di rumore.**

3.1 Acustica fisiologica.

3.2 Sorgenti sonore e propagazione delle onde acustiche.

3.3 Sorgenti di rumore di natura strutturale (structure borne sound). Emissione acustica di pannelli vibranti.

3.4 Sorgenti di rumore di natura aerodinamica (aerodynamic sound).

## 4. **Acustica ambientale.**

4.1 Riflessione, trasmissione ed assorbimento di una parete. Tempo di riverbero.

4.2 Potere fonoisolante di una parete.

4.3 Cenni sul controllo attivo del rumore.

4.4 Strumenti di misura ed elaborazione dei segnali.

4.5 Valutazione del rumore ambientale e normative.

### *Esercitazioni*

Il corso prevede una serie di esercitazioni pratiche ad illustrazione e completamento degli argomenti svolti a lezione.

### *Libri consigliati*

William T. Thomson: *Vibrazioni meccaniche*, Tamburini editore.

Remigio Ruggeri: *Controllo del rumore negli ambienti di lavoro*, CLUP.

M.P. Norton: *Fundamentals of noise and vibration analysis for engineers*, Cambridge University Press.

Dispense integrative.

## **CONVERSIONE DELL'ENERGIA**

**AK0108**

**Prof. Ennio MACCHI**

### *Programma d'esame*

#### **1. Classificazione e caratteristiche delle fonti di energia:**

Fonti di energia utilizzabili per la generazione di energia meccanica/elettrica: fonti primarie e secondarie, energia nucleare, prospettive e linee evolutive internazionali a breve, medio e lungo termine.

#### **2. Metodologie di analisi dei cicli di potenza:**

##### **Analisi termodinamiche:**

principi generali dell'analisi entropica, applicazione ai cicli chiusi, scelta delle sorgenti e dei pozzi di calore di riferimento, cicli reversibili (Camot, Lorenz), cicli reali, produzione di entropia nei componenti statici e dinamici; analisi energetica dei cicli aperti, produzione di entropia nei processi in cui avvengono reazioni chimiche, bilanci di energia chimica e fisica. Esempi applicativi ai cicli di potenza convenzionali (Rankine, Brayton).

**Criteri di ottimizzazione dei parametri progettuali e operativi di una centrale:**

ottimizzazioni di tipo termodinamico (massimizzazione rendimento e/o lavoro specifico, minimizzazione produzione di entropia, alle condizioni nominali e a carichi variabili) e di tipo tecnico-economico (minimizzazione del costo del kWh): criteri preliminari di scelta fra varie tipologie impiantistiche, costi fissi e costi variabili di una centrale termoelettrica, indicatori economici, analisi di sensibilità.

**Valutazione di impatto ambientale di una centrale termoelettrica:**

emissioni gassose, reflui, scarichi solidi, rumore, inquinamento termico.

**3. Fluidi di lavoro e combustibili per cicli di potenza:**

gas perfetti con molecole mono, bi, tri e poliatomiche, gas reali, principio degli stati corrispondenti, metodi approssimati per il calcolo delle proprietà termodinamiche dei gas reali, dei vapori e dei liquidi, curva di Andrews, applicazione del l'elaboratore elettronico alla ricerca delle equazioni di stato; combustibili gassosi, liquidi e solidi.

**4. Componenti degli impianti di conversione dell'energia:****Turbomacchine:**

criteri generali di dimensionamento delle turbomacchine; legami fra le caratteristiche del fluido di lavoro, le dimensioni e le prestazioni; legami fra rendimento e caratteristiche geometriche e fluidodinamiche; metodologie di ottimizzazione nella scelta del regime di rotazione, dei triangoli delle velocità e della geometria di una turbomacchina.

**Scambiatori di calore:**

classificazione e criteri generali di dimensionamento; scambiatori compatti, superfici estese, criteri di selezione delle matrici di scambio; influenza del tipo di processo e della natura del fluido sull'architettura dello scambiatore; derivazione del legame fra potenza meccanica necessaria al moto dei fluidi, potenza termica e caratteristiche operative e funzionali.

**Combustori:**

caratteristiche e principi di funzionamento dei combustori a basso  $NO_x$  per generatori di vapore e per turbine a gas.

**5. Centrali a vapore:****Linee di tendenza per le moderne centrali termoelettriche a vapore:**

cicli avanzati (ipercritici ad alta temperatura, con doppio surriscaldamento): problemi termodinamici e problemi tecnologici; centrali a polverino di carbone, a olio combustibile, a gas naturale, centrali poli-combustibile. Caldaie a letto fluido, bollenti e riciccolanti.

**Cicli a vapore per centrali nucleari (BWR e PWR):**

cicli saturi o leggermenti surriscaldati. Aspetti termodinamici, fluidodinamici e tecnologici.

**Cicli di vapore per centrali geotermiche:**

per fluidi geotermici ad alta, media e bassa entalpia.

**Cicli binari e ternari:**

metalli liquidi, fluidi organici.

**6. Turbine a gas e cicli combinati gas/vapore per generazione stazionaria di energia:****Stato dell'arte e linee evolutive delle turbine a gas:**

macchine industriali e di derivazione aeronautica; materiali ad alta temperatura e raffreddamento delle palettature: aspetti termodinamici e tecnologici. Modifiche al ciclo semplice: interrefrigerazione, ricombustione, rigenerazione.

**Cicli combinati gas vapore:**

analisi termodinamica dei possibili schemi di impianto, con e senza postcombustore. Ottimizzazione del ciclo a vapore sottoposto, a uno e più livelli di pressione; organizzazione della caldaia a recupero.

**Cicli misti gas/vapore:**

cicli a iniezione di vapore (STIG), cicli a iniezione d'acqua, cicli ad aria umida (HAT).

**Ripotenziamento di centrali a vapore esistenti con turbine a gas:**

possibilità impiantistiche e problematiche termodinamiche.

Cicli chiusi a gas:

prospettive, stato dell'arte, vantaggi e svantaggi rispetto ai cicli aperti; analisi termodinamica generale, influenza del fluido di lavoro su turbomacchine e scambiatori di calore, effetti di gas reale.

**7. Generazione di energia da processi di gassificazione:****Tecnologie di gassificazione:**

classificazione, principi di funzionamento, aspetti termodinamici e tecnologici, stato dell'arte e prospettive. Applicazioni alla gassificazione del carbone, dei residui di raffineria e della biomassa.

**Integrazione gassificazione/ciclo combinato;**

Aspetti termodinamici, bilanci energetici ed exergetici.

**Cicli per recupero di calore a temperatura variabile e per sorgenti a bassa temperatura:**

cicli a vapore, motori a fluido organico.

*Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni, con elaborati sviluppati da gruppi di allievi; nello svolgimento di alcune esercitazioni si farà uso di strumenti informatici in dotazione al Dipartimento di Energetica; saranno effettuate alcune visite a centrali termoelettriche e ad industrie del settore, è offerta la possibilità di svolgere tesi ed elaborati di laurea su argomenti attinenti al Corso; in tale attività gli Allievi saranno direttamente seguiti dal Docente o da personale interno del Dipartimento di Energetica.

*Libri consigliati*

Dispense del Corso.

M.M. El Wakil *Nuclear power engineering*, McGraw-Hill, New York;

G.A. Gafferet *Steam power stations*, McGraw-Hill, New York;

E.F. Church *Steam Turbines*, McGraw-Hill, New York.

**CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI****AE0102****Prof. Pietro PEDEFERRI***Programma d'esame***Corrosione.**

Danni diretti e indiretti. Conseguenze economiche, funzionali, strutturali. Affidabilità e sicurezza.

La corrosione a umido dei materiali metallici. Meccanismo elettrochimico. Aspetti termodinamici.

I diagrammi potenziale/pH. Cinetica dei processi anodici. Fenomeni di passivazione e condizioni di passività. Cinetica dei processi catodici. La riduzione di ossigeno. Lo sviluppo di idrogeno.

Leggi di funzionamento dei sistemi di corrosione. Sistemi polielettrodici. Distribuzione dei processi corrosivi. Fattori principali: il metallo, l'ambiente, i prodotti di corrosione. Forme tipiche di corrosione: uniforme, per contatto galvanico, in fessura, per vaiolatura, attacco selettivo, intergranulare, per turbolenza, abrasione, cavitazione, per sfregamento, sotto tensione, a fatica, danneggiamento da idrogeno, corrosione biologica, da correnti disperse. Corrosione negli ambienti naturali: atmosfera, acque, terreni. La corrosione nel calcestruzzo.

La corrosione a secco. Corrosione in sali fusi ed in metalli fusi.

Il degrado dei materiali ceramici, vetrosi, lapidei e cementizi.

Il degrado dei materiali polimerici: chimico, fotochimico, biologico, termico.

La corrosione dei materiali compositi.

I metodi di studio, di prova, di ispezione, di diagnosi, di monitoraggio dei fenomeni corrosivi. Metodi di misura della velocità di corrosione. Metodi di prova e di controllo del comportamento corrosivistico dei materiali di laboratorio e in campo. Interpretazione ed utilizzo dei risultati delle prove. Determinazione dell'aggressività ambientale.

#### **Prevenzione.**

Il costo della prevenzione.

Gli interventi sul materiale. L'alligazione nobilitante, passivante, stabilizzante dei materiali metallici. I trattamenti protettivi superficiali. La preparazione delle superfici. I rivestimenti metallici, I principali metodi di applicazione. I rivestimenti organici. I meccanismi di protezione e di degrado delle pitture. Gli strati di conversione e i rivestimenti inorganici.

Gli interventi sull'ambiente. Controllo del pH, tenore di ossigeno, composizione, temperatura. Gli inibitori di corrosione.

La protezione elettrica. La protezione anodica. La protezione da correnti disperse.

La prevenzione in sede di progetto, costruzione e gestione. I criteri di scelta e di progettazione dei sistemi di protezione. I criteri di scelta dei materiali. Il comportamento alla corrosione delle principali famiglie di materiali metallici, organici ed inorganici. Materiali per alta temperatura.

L'applicazione dei sistemi informatici nel campo della prevenzione: banche dati, sistemi esperti di controllo dei sistemi di protezione.

#### **Corrosione e protezione in ambienti e/o applicazioni specifiche.**

La corrosione e la protezione di strutture metalliche ed in cemento armato negli ambienti naturali.

Inoltre uno degli argomenti seguenti: corrosione e protezione nei settori 1. edilizio, 2. energetico; 3. nucleare; 4. petrolchimico; 5. chimico; 6. alimentare; 7. marino; 8. aeronautico, 9. automobilistico, 10. dei sistemi elettrici e dei dispositivi elettronici; 11. bioingegneristico, 12. delle opere d'arte.

#### *Libri consigliati*

P. Pedferri: *Corrosione e protezione dei materiali metallici*, CLUP, Milano.

P. Pedferri, Luca Bertolini: *Corrosione nel calcestruzzo e negli ambienti naturali*, Me Graw-Hill, Milano.

Per le parti non coperte dai volumi sopra indicati saranno fornite delle dispense.

## **CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI METALLICI**

**AE0016****Prof. Gabriele SALVAGO**

#### *Programma d'esame*

**1. Corrosione a secco.** Fattori termodinamici. Meccanismo e cinetica. Materiali resistenti ad alta temperatura.

**2. Corrosione a umido.** Meccanismo elettrochimico dei fenomeni di corrosione. Aspetti stechiometrici. Varie espressioni della velocità di corrosione. Aspetti termodinamici. Diagrammi di Pourbaix. Aspetti cinetici. Sovratensione di idrogeno e d'ossigeno. Passivazione e passività. Controllo cinetico dei processi corrosivi. Leggi di funzionamento dei sistemi galvanici bielettrodici. Sistemi polielettrodici. Distribuzione dei processi corrosivi.

**3. Teoria delle tensioni miste.** Processi elettrodici concorrenti. Tensione elettrodica mista e velocità di corrosione. Tensione elettrodica mista di un elettrodo non omogeneo a contatto con una soluzione aggressiva non omogenea. Applicazioni della teoria delle tensioni miste.

**4. Fattori principali nei fenomeni corrosivi.** Fattori relativi al materiale metallico. Fattori relativi all'ambiente. Fattori relativi sia al materiale metallico che all'ambiente.

**5. Metodi di prevenzione e protezione.** Interventi sul materiale metallico e sull'ambiente. Rivestimenti metallici e non metallici. Inibitori di corrosione. Protezione catodica. Protezione anodica.

**6. Forme tipiche di corrosione.** Corrosione uniforme. Corrosione per contatto galvanico. Corrosione in fessura. Corrosione per vaiolatura. Attacco selettivo. Corrosione intergranulare. Corrosione sotto tensione. Corrosione e fatica. Danneggiamento da idrogeno. Corrosione per turbolenza, abrasione, cavitazione. Corrosione per sfregamento.

**7. Corrosione in ambienti particolari.** Corrosione atmosferica. Corrosione in acque dolci, di mare. Corrosione delle strutture interrata. Corrosione per correnti disperse. Corrosione biologica. Corrosione in ambienti aggressivi tipici dell'industria chimica e petrolchimica.

**8. Metodi di prova e di controllo.** Prove tipo di laboratorio, di controllo e di collaudo, di servizio. Metodi elettrochimici per la determinazione della velocità di corrosione. Monitoraggio degli impianti industriali.

**9. Affidabilità e sicurezza.** Danni diretti e indiretti. Prevenzione della corrosione in sede di progetto. Costruzione e gestione degli impianti.

#### *Esercitazioni*

Prove di corrosione con metodi tradizionali ed elettrochimici. Esame di casi pratici di corrosione.

#### *Libri consigliati*

P. Pedferri: *Corrosione e protezione dei materiali metallici*, CLUP 1978.

## **COSTRUZIONE DI MACCHINE**

**AR0007**

(per allievi del Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale)

**Prof. Paolo CLERICI**

#### *Programma d'esame*

### **1. IL COMPORTAMENTO DEI MATERIALI.**

#### **1.1. Il comportamento dei materiali sotto sollecitazioni semplici.**

Il comportamento dei materiali sollecitati staticamente a trazione, compressione, flessione e torsione: influenza dei principali parametri di prova. Cenni sul comportamento dei materiali sollecitati impulsivamente. Il comportamento dei materiali sotto sollecitazioni semplici di fatica a basso ed alto numero di cicli: dispositivi per le prove e risultati sperimentali; influenza dei principali parametri di prova. Aspetti statistici della resistenza a fatica. Il comportamento dei materiali sollecitati da forze o da deformazioni perduranti nel tempo: scorrimento e rilassamento; risultati sperimentali e loro elaborazione nelle forme più adatte per la soluzione dei problemi applicativi. Le principali caratteristiche dei materiali (acciai, leghe leggere, materiali compositi), influenza dell'ambiente.

#### **1.2 Aspetti applicativi della meccanica dei solidi.**

Complementi di meccanica dei solidi: analisi dello stato di sforzo e dello stato di deformazione. La meccanica dei solidi elastici isotropi: complementi di teoria della elasticità; aspetti energetici; metodi generali di impostazione e soluzione con applicazioni ai casi più frequentemente ricorrenti negli elementi delle macchine. Collaborazione plastica. Instabilità dell'equilibrio elastico. Cenni sulla meccanica dei solidi isotropi plastici. Cenni sulla meccanica dei solidi ortotropi.

#### **1.3. Il cedimento dei materiali.**

Aspetti fenomenologici del cedimento dei materiali e loro correlazione col tipo di sollecitazione impressa al materiale. Il cedimento dei materiali sotto sollecitazioni composte di tipo statico, prin-

cipali criteri di resistenza e loro correlazione con i risultati sperimentali delle prove statiche. Il cedimento dei materiali sotto sollecitazioni composte di fatica: considerazioni generali, risultati sperimentali e criteri di verifica a basso ed alto numero di cicli. Cenni sul cedimento dei materiali dovuto a sollecitazioni perduranti di tipo composto. Meccanica della frattura lineare elastica: criterio energetico, criterio del fattore di intensità degli sforzi  $K_{I2}$ , zona plasticizzata all'apice della cricca.

Propagazione della cricca a fatica, legge di Paris.

#### **1.4. La resistenza degli elementi delle macchine.**

Considerazioni generali sulla scelta dei materiali. Determinazione dei limiti di impiego dei materiali, sforzi ammissibili in relazione alle condizioni di funzionamento. Considerazioni generali sulla forma degli elementi delle macchine. I fattori che influenzano la resistenza (geometria, finitura superficiale, dimensione). Le verifiche di resistenza.

#### **2. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DI ALCUNI ELEMENTI DELLE MACCHINE.**

Criteri generali per lo studio della progettazione e del calcolo delle macchine. Elementi di collegamento: viti, bulloni, chiodature, saldature, collegamenti forzati. Molle ad elica cilindrica. Cuscinetti a rotolamento. Organi per la generazione e la trasmissione del moto rotatorio: ruote dentate. Alberi, assi. Manovelle di estremità Dischi rotanti. Organi per il contenimento dei fluidi: recipienti cilindrici a forte e debole spessore. Fondi piani e curvi. Collegamenti a flangia. Guarnizioni. Progettazione di elementi di macchine in presenza di difetti.

#### *Esercitazioni*

Sarà svolto un corso di esercitazioni comprendenti un certo numero di problemi relativi ad elementi semplici di macchina. Ciascun esercizio sarà spiegato nella prima ora di esercitazione, per una o più settimane; esso sarà svolto nelle ore successive a disposizione, con assistenza in aula. Visite nel laboratorio del Dipartimento di Meccanica avranno lo scopo di mostrare le modalità di caratterizzazione dei materiali e la determinazione sperimentale degli stati tensionali in elementi meccanici.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una parte scritta ed in una parte orale. La parte scritta, della durata di 2 ore, verte sullo svolgimento di un esercizio analogo a quelli svolti durante il corso di esercitazione. La parte scritta si tiene all'inizio dell'appello di esame scelto dal candidato. Tutti gli allievi che sostengono la parte scritta sono ammessi all'orale che inizia con la discussione dell'elaborato. Gli allievi che, superando una prova scritta verso il termine delle esercitazioni, dimostrano una conoscenza sufficiente degli argomenti svolti ad esercitazione, sono esonerati dalla parte scritta dell'esame, se questo è sostenuto entro la prima sessione del successivo anno accademico.

#### *Libri consigliati*

Bettolini I., Bazzaro E.: *Lezioni di costruzione di macchine - Resistenza dei materiali*, II edizione, Masson Italia Editori, Milano, 1983.

Bernasconi G.: *Lezioni di costruzioni di macchine*, CLUP, Milano, 1984.

Fuchs A., Stephens R.: *Metal Fatigue in Engineering*, Wiley and Sons, 1980.

Juvinat R., Marshek K.: *Fondamenti della progettazione dei componenti delle macchine*, Edizioni ETS, 1993.

Massa E., Bonfigli L.: *Costruzione di Macchine*, Voi. 1, Masson Italia Editore, Milano, 1979.

Massa E.: *Costruzione di Macchine*, Voi. 2, Masson Italia Editore, Milano, 1979.

**COSTRUZIONE DI MACCHINE****AR0009**

(per gli allievi di Ingegneria Elettrica, Meccanica (ene), Nucleare

**Prof. Sergio SIRTORI***Programma d'esame***1) FONDAMENTI DI CALCOLO STRUTTURALE.**

**1.1) Analisi dello stato triassiale di sforzo e deformazione del continuo:** rappresentazione tensoriale di sforzi e deformazioni; trasformazioni ortogonali del riferimento cartesiano, tensioni e direzioni principali, sforzi ottaedrali, componenti idrostatica e deviatorica, invarianti. Proprietà dei cerchi di Mohr ed applicazioni.

- legami spostamenti-deformazioni e sforzi-deformazioni, nonlinearità geometrica e nonlinearità del materiale.

**1.2) Effetti della nonlinearità del materiale sullo stato tensionale:** il comportamento elasto-plastico teorico e quello reale dei materiali metallici; superficie di primo snervamento e legge di normalità del flusso plastico; incrudimento e susseguenti superfici di snervamento; incrudimento isotropico e cinematico.

- coefficienti di collaborazione a snervamento nella flessione e nella torsione; analogie della membrana e della superficie di natura declivio nella torsione non circolare.

- la correzione plastica delle concentrazioni teoriche di sforzo dovute ad intaglio; tensioni residue dopo lo scarico.

- comportamento dissimmetrico a trazione-compressione delle ghise e coefficiente di collaborazione a flessione.

**1.3) Applicazioni della teoria lineare dell'elasticità a problemi assialsimmetrici:** cilindri di grosso spessore, piastre circolari, gusci sferici, gusci cilindrici e relativi effetti di bordo; dischi ed anelli rotanti.

- instabilità dei cilindri di piccolo spessore premuti dall'esterno.

**1.4) metodi numerici per il calcolo strutturale:** modellazione per elementi finiti e formulazione in campo lineare elastico del processoolutivo; aspetti applicativi. Cenni sul metodo degli elementi di contorno.

**2) RESISTENZA DEI MATERIALI.**

**2.1) la resistenza ai carichi statici:** il cedimento per distacco o per scorrimento; prove di trazione semplice, di flessione, di torsione e di taglio. Carico di snervamento marcato e convenzionale, carico di rottura.

- criteri di resistenza e superficie limite nello spazio delle tensioni (secondo Galileo, Tresca, Von Mises, Mohr).

- tensione equivalente, tensione limite, tensione ammissibile, coefficiente di sicurezza.

**2.2) la resistenza in presenza di fessure:** singolarità del campo tensionale sul fronte della fessura secondo la teoria lineare del continuo; fattore di intensità degli sforzi e tenacità a frattura del materiale secondo i tre modi fondamentali di apertura della cricca; energia di rilascio per unità di superficie fratturata, integrale di Rice.

- cricche con plasticizzazione localizzata sul fronte di avanzamento e fessura elastica equivalente secondo Irwin.

- avanzamento stabile delle cricche per fatica e legge di Paris.

**2.3) la resistenza a fatica:** nucleazione della cricca, propagazione e schianto finale; diagramma di Wohler e diagramma di Smith come sintesi delle prove per la determinazione del limite di resistenza a fatica; dispersione dei risultati sperimentali ed interpretazione probabilistica; effetto d'intaglio, effetto della finitura superficiale, effetto delle dimensioni del pezzo e valutazione dei rispettivi coefficienti.

- la resistenza in stato di sforzo composto: esperienze di Gough-Pollard e formule di verifica; metodo del Sines.
- la resistenza a termine e il danneggiamento cumulativo ( Miner); la fatica oligociclica e la legge di Coffin-Manson

**2.4) la resistenza ad alta temperatura:** definizione di alta temperatura per i materiali metallici e meccanismi di scorrimento e di danneggiamento; prove di creep e le tre fasi (primaria, secondaria e terziaria); le mappe dell'Ashby come sintesi dei risultati sperimentali; la legge del Norton e la legge di Arrhenius; verifica rispetto alla rottura e rispetto alla deformazione eccessiva; influenza sul creep dell'irraggiamento neutronico (legge del Foster).

- tensione equivalente e velocità di deformazione nello stato di sforzo triassiale.

### 3) ELEMENTI DELLE MACCHINE.

3.1) **Criteri generali per la progettazione ed il calcolo:** scelta del materiale, coefficiente di sicurezza, sforzi ammissibili nelle verifica deterministica; cenni ai criteri probabilistici nella verifica affidabilistica.

- accorgimenti progettuali per migliorare la resistenza a fatica.

3.2) **Organi per il contenimento dei fluidi:** recipienti cilindrici, fondi piani, sferici, torosferici, flange e guarnizioni.

3.3) **Elementi di collegamento:** viti, bulloni, accoppiamenti scanalati, chiavette, linguette, collegamenti forzati, saldature, cuscinetti volventi, cuscinetti radenti, supporti.

3.4) **Elementi per la generazione e trasmissione del moto:** alberi, rotor, giunti, ruote dentate, puleggie, cinghie.

#### *Esercitazioni*

Verranno svolti alcuni temi di progetto e verifica di organi di macchine di vario tipo, per lo più scelti tra quelli incontrati negli impianti per la produzione dell'energia elettrica..

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale preceduta da un esercizio preliminare su un argomento analogo a quelli svolti nelle esercitazioni. Saranno esentati dall'esercizio preliminare gli allievi che sosterranno l'esame negli appelli dell'anno accademico di frequenza ed avranno dimostrato, nel colloquio al termine del corso di esercitazioni, di aver seguito con profitto il corso stesso.

#### *Libri consigliati*

Bertolini I., Bazzaro E.: *Lezioni di costruzione di macchine - Resistenza dei materiali*, III ed., Spiegel, Milano, 1996.

Belloni G., Bernasconi G.: *Sforzi deformazioni e loro legami*, Spiegel, Milano, 1984.

Bernasconi G. (a cura di): *Lezioni di costruzioni di macchine*, CLUP, Milano, 1985.

Massa E., Botigli L.: *Costruzione di macchine*, Voi. 1, Masson Italia Editori, Milano, 1979.

Massa E.: *Costruzione di macchine*, Voi. 2, Masson Italia Editori, Milano, 1979.

Sirtori S.: *Il metodo degli elementi finiti nell'analisi delle tensioni*, Ed. Spiegel, Milano, 1996.

**COSTRUZIONE DI MACCHINE****AR0009**

(per gli allievi di Ingegneria dei Materiali e Meccanica (auto,bio,prò,bas,mat)

**Prof. Angelo TERRANOVA***Programma d'esame***IL COMPORTAMENTO DEI MATERIALI E SUOI RIFLESSI SUL PROGETTO E LA VERIFICA DEGLI ORGANI DELLE MACCHINE**

**Sotto carichi statici** (ricavabile cioè da prove "rapide") - di trazione e di compressione: forma del provino, definizione delle principali caratteristiche meccaniche, sforzi veri e deformazioni naturali, leggi costitutive - in particolare legge di Hollomon -, effetto della velocità di deformazione, effetto dell'alta e della bassa temperatura [I, cap. 2 e appendice A; II, cap. 8];

- di flessione: elastica, non elastica e con materiali a comportamento dissimmetrico a trazione e compressione, effetto di collaborazione, tensioni e deformazioni residue [II, cap. 14];

- di torsione (elastica e non elastica): legame tra gli sforzi tangenziali e gli scorrimenti ricavato dal diagramma momenti torcenti-angoli di rotazione, collaborazione plastica, tensioni e deformazioni residue [IV, appendice I];

- di taglio in campo elastico (richiami dall'insegnamento di Scienza delle Costruzioni).

**In presenza di concentrazione di sforzi** - effetto di forma o di intaglio teorico, coefficiente di sovrassollecitazione teorico  $K_t$ , considerazioni in campo non lineare, coefficiente di sovrassollecitazione sperimentale per materiali fragili e duttili [II, cap. 6 e IV, cap. 3].

**Sotto carichi di fatica** - ad alto numero di cicli: tipi di prove e di provini, solidi di uniforme resistenza a flessione, diagramma di Wöhler e suoi aspetti probabilistici, metodi per la determinazione del limite di resistenza a fatica, diagrammi di Haigh e di Smith, effetto di intaglio  $K_f$  secondo Neuber e Peterson, effetto della finitura superficiale, effetto dimensionale, danneggiamento cumulativo (legge di Miner), effetto della frequenza, effetto dell'alta e della bassa temperatura, corrosione e fatica, effetto dei rivestimenti protettivi, metodi per alleviare la sollecitazione di fatica [I, cap. 3, appendici B e D, II, cap. 10 e 12]; - a basso numero di cicli: tipi di prove e di provini, a bassa e ad alta temperatura, legge di Coffin-Manson [II, cap. 11].

**In presenza di scorrimento viscoso (creep) per stati di sforzo monoassiali** - viscoelasticità lineare, modelli meccanici e loro leggi costitutive, viscoelasticità non lineare, leggi costitutive ed in particolare legge di Norton, verifica della deformazione accumulata, verifica della rottura, rilassamento [III, cap. 5; II cap. 13].

**In presenza di micro fessure (meccanica della frattura)** - meccanica della frattura lineare elastica e sua applicazione alla propagazione della fessura per fatica, legge di Paris [II, cap. 9].

**L'ANALISI DELLO STATO DI SFORZO**

- Richiami di teoria dell'elasticità;

- Tensore degli sforzi e suoi invarianti, sforzi e direzioni principali, sforzi ottaedrici, cerchi di Mohr, deviatore degli sforzi, lavoro elastico di deformazione e di variazione di forma [III, cap. 1];

- Metodi numerici per il calcolo strutturale: modellazione per elementi finiti e formulazione in campo lineare elastico del processo solutivo [II, cap. 3; dispensa].

**LA VERIFICA DELLA RESISTENZA**

**Con stati di sforzo semplici statici, di fatica, con scorrimento viscoso;**

**Con stati di sforzo composti statici;** - teorie di resistenza di Galileo-Rankine, Guest-Tresca, Huber-Hencky-Von Mises, Ros-Eichinger, Mohr;

**di fatica** - validità delle teorie di resistenza introdotte per sollecitazioni statiche, teorie di resistenza di Gough-Pollard e di Sines; coefficiente di sicurezza [V, cap. 3.15].

**IL DIMENSIONAMENTO E LA VERIFICA DI ALCUNI ORGANI DELLE MACCHINE**

[VI e dispense]

**A) Esercitazioni Numeriche**

- 1) Forzamento lineare.
- 2) Molla ad elica cilindrica.
- 3) Recipiente in pressione: effetto guarnizione.
- 4) Recipiente in pressione: verifica di resistenza dei bulloni.
- 5) Recipiente in pressione: determinazione degli spessori del mantello cilindrico e del fondo sferico, deformazioni delle flange e sollecitazioni di flessione nei bulloni; effetti di bordo.
- 6) Forzamento albero-mozzo: calcolo dell'interferenza.
- 7) Forzamento albero-mozzo: verifica di resistenza per l'interferenza massima nella ruota dentata elicoidale.
- 8) Applicazione del Metodo degli Elementi Finiti: parte I.
- 9) Applicazione del Metodo degli Elementi Finiti: parte II.
- 10) Albero lento di un riduttore: spinte e scelta dei cuscinetti a rotolamento.
- 11) Albero lento di un riduttore: verifica di resistenza a fatica e calcolo della velocità critica flessionale.
- 12) Ruote dentate: dimensionamento a usura.
- 13) Ruote dentate: verifica e fatica.
- 14) Pompa per oleodotto: richiami di cinematica del monovellismo e calcolo delle forze agenti.
- 15) Pompa per oleodotto: azioni interne e verifica a fatica dell'albero a gomito.
- 16) Pompa per oleodotto: dimensionamento della biella al carico di punta e verifica a fatica.
- 17) Agitatore per autoclave: calcolo delle azioni interne nell'albero e verifica di resistenza della parte sollecitata staticamente.
- 18) Agitatore per autoclave: verifica di resistenza a fatica dell'albero e calcolo della deformata dell'albero con metodi grafici e numerici.

**B) Esercitazioni di Laboratorio**

- 1) Determinazione delle caratteristiche meccaniche di materiali duttili e fragili.
- 2) Rilevamento estensimetrico delle deformazioni in un elemento meccanico con intaglio.
- 3) Rilevamento della fase di propagazione di cricche di fatica.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta ed in una prova orale. Nella prova scritta, della durata di 2 ore, verrà proposto un esercizio analogo a quelli svolti durante il corso di esercitazioni. La prova scritta si tiene all'inizio dell'appello di esame scelto dal candidato. Tutti gli allievi che sostengono la prova scritta saranno ammessi alla prova orale che inizierà con la discussione dell'elaborato. Gli allievi che, in un colloquio al termine del corso di esercitazioni, dimostrino una conoscenza della materia svolta nelle esercitazioni sufficiente a far ritenere già acquisita la capacità di arrivare al dimensionamento ed alla verifica di un elemento di macchina, vengono dispensati dalla esecuzione di una parte della prova scritta, che, in tal caso, dura 1 ora e mezza.

*Libri consigliati*

- [I] Bettolini I., Bazzaro E.: *Lezioni di costruzione di macchine - Resistenza dei materiali*, II edizione, Masson Italia Editori, Milano, 1983
- [II] Bernasconi G.: *Lezioni di Costruzioni di macchine*, CLUP, Milano, 1984
- [III] Belloni G., Bernasconi G.: *Sforzi deformazioni e loro legami*, Spiegel, Milano, 1975.
- [IV] Massa E., Bonfigli L.: *Costruzione di macchine*, Voi. I, Masson Italia, Milano, 1979

[V] Belloni G., Bernasconi G., Bettolini I.: *Verifica della Resistenza*, in: Colombo G.: *Manuale dell'ingegnere (sezione C)*, Hoepli, Milano, 1985.

[VI] Massa E.: *Costruzione di macchine*, Voi. II, Masson Italia, Milano, 1979.

## **COSTRUZIONE DI MACCHINE**

**AR0009**

(per gli allievi di Ingegneria Meccanica (cos, vei)

**Prof. Giulio BELLONI**

*Programma d'esame*

### **1) ANALISI DELLO STATO DI SFORZO**

Corpi rigidi e deformabili. Tetraedro del Cauchy. Equazioni indefinite di equilibrio in coordinate cartesiane, cilindriche, polari piane e per problemi assialsimmetrici. Sforzi principali. Invarianti. Sforzi notevoli e ottaedrali. Deviatore e tensore idrostatico. Ellissoide degli sforzi. Cerchi del Mohr per stato di sforzo piano e tridimensionale. Sforzi principali secondari.

### **2) ANALISI DELLO STATO DI DEFORMAZIONE**

Risultati dell'analisi dello stato di deformazione. Deformazioni naturali. Cenni di estensimetria.

### **3) PROVE SUI MATERIALI**

Prova di trazione. Caratteristiche dei materiali. Unificazione. Effetto Bauschinger. Leggi di similitudine. Effetto delle condizioni di prova: velocità, temperatura, irraggiamento. Sforzi convenzionali e veri. Deformazioni convenzionali e naturali. Prova di compressione. Caratteristiche dei materiali. Confronto trazione compressione. Cenni alle elevate pressioni.

### **4) SCHEMI IDEALI MONOASSIALI**

Elastico lineare e non lineare. Elastico perfettamente plastico. Elasto-plastico con rinforzamento. Rigido plastico. Leggi costitutive per trazione e compressione.

### **5) FLESSIONE RETTA IN CAMPO PLASTICO**

Prova di flessione. Snervamento di sezioni a doppia ed a semplice simmetria per materiali simmetrici e non simmetrici. Coefficiente di collaborazione a snervamento. Scarico e sforzi residui. Rottura di sezioni a doppia e semplice simmetria per materiali tenaci, fragili simmetrici e fragili dissimmetrici. Coefficiente di collaborazione a rottura.

### **6) TORSIONE CIRCOLARE IN CAMPO PLASTICO**

Richiami della torsione circolare in campo elastico. Prova di torsione in campo plastico: relazione tra sforzi e deformazioni. Coefficiente di collaborazione a snervamento. Scarico e sforzi residui. Confronto con la prova di trazione. Rottura e coefficiente di collaborazione a rottura

### **7) VERIFICA DI RESISTENZA STATICA**

Coefficienti di sicurezza esterno ed interno. Sforzi limite ed ammissibile. Formulazione generale delle teorie di resistenza. Grandezza indice del pericolo. Sistemi di riferimento adatti a rappresentare le superficie limite delle varie teorie. Piano deviatorico. Lavoro di deformazione per variazione di forma, di volume e totale. Teorie di: Galileo-Rankine, Guest-Tresca, Ros-Eichinger; Beltrami, Huber-Hancky-Von Mises, Huber-Beltrami, Baes, Mohr e Coulomb. Criteri di scelta delle varie teorie.

### **9) EFFETTO DI INTAGLIO**

Coefficiente di intaglio teorico per gli sforzi e per le deformazioni. Regola del Neuber. Lastra indefinita forata. Coefficiente di intaglio teorico in stati di sforzo pluriassiali. Coefficiente di intaglio sperimentale: a rottura per carichi statici, a plasticizzazione totale per carichi statici, a deformazione fissata per carichi statici, a scorrimento viscoso, a fatica. Plasticizzazione nella zona dell'intaglio per lastra forata.

**10) MECCANICA DELLA FRATTURA**

Meccanica della frattura in campo elastico lineare (MFLE). Tenacità alla frattura. Uso della relazione della meccanica della frattura. Campo di applicazione. Provini. Plasticizzazione all'apice della cricca. Estensione della MFLE. Metodo del Irwin. Modello del Dugdale ed apertura all'apice della cricca. Applicazione di correzione plastica. Meccanica della frattura in campo elasto-plastico: metodo del Burdekin, integrale  $J$  e sua misura. Avanzamento stabile di cricca per fatica: legge del Paris.

**11) FATICA AD ALTO NUMERO DI CICLI**

Esempi di cedimenti per fatica. Il cedimento a fatica ed i metodi di studio. Macchine e provini per prove di fatica. Richiami di statistica per interpretare i risultati delle prove. Costruzione del diagramma del Wohler. Metodi probit e stair cases. Rapporti di fatica. Diagrammi del Haigh e dello Smith. Accumulo del danno: legge di Miner-Palmgreen. Effetto di superficie, di dimensione e di volume. Teoria unificata del gradiente. Effetto delle condizioni ambientali: temperatura, corrosione. Fatica per strisciamento. Verifica a fatica in stato di sforzo monoassiale. Considerazioni affidabilistiche nella verifica a fatica. Verifica a fatica in stato di sforzo composto. Stato di sforzo biasiale: uso di teorie di resistenza statiche, criterio di Gough-Pollard. Stato di sforzo triassiale: uso di teorie di resistenza statiche, criteri del Sines, del Findley e del Crossland.

**12) FATICA A BASSO NUMERO DI CICLI**

Aspetti fenomenologici. Legge di Manson-Coffin. Incrudimento ed addolcimento ciclici. Curva ciclica. Effetto della deformazione media. Fatica a basso numero di cicli ad alta temperatura. Legge cumulativa lineare del danno. Effetto della frequenza.

**13) RIDUZIONE DEL CIMENTO A FATICA**

Miglioramento del disegno a fatica. Raccordi di alberi, rullatura. Fori su alberi, lavorazioni plastiche. Chiavette e linguette. Attacchi e viti. Rivettature. Mozzi forzati. Influenza dell'ambiente e protezione. Saldature: disegno, esecuzione ed effetti. Sforzi residui: misura ed effetti: pallinatura ed altri trattamenti superficiali.

**14) PROBLEMI ASSIALSIMMETRICI**

Impostazione del problema termoelastico. Dischi sottili con pressioni sui contorni o rotanti. Plasticizzazione del disco forato con pressione interna. Disco soggetto a sforzi termici. Cilindri lunghi con pressioni sui contorni o rotanti.

**15) METODI NUMERICI PER IL CALCOLO STRUTTURALE**

Modellazione ad elementi finiti e soluzione in campo lineare elastico di problemi con elementi di trave e con elementi piani triangolari.

**16) VISCOELASTICITÀ**

Risultati sperimentali a scorrimento viscoso ed a rilassamento. Descrizione fisica: attivazione termica, modelli di deformazione plastica, diffusione attraverso i grani ed al loro bordo, movimento non conservativo delle dislocazioni, mappe del Ashby. Descrizione fenomenologica. Viscoelasticità lineare. Modelli elementari: molla, smorzatore, corpo alla Voight ed alla Maxwell. Cenno ai modelli con più elementi. Viscoelasticità non lineare: deformazione iniziale, transitoria e secondaria. Leggi costitutive. Danneggiamento e rottura. Estrapolazione ed interpolazione dei dati sperimentali. Parametri del Dom e di Larson-Miller.

*Esercitazioni*

Verranno svolti alcuni temi di progetto e di verifica di organi di macchine di vario tipo, integrati da alcune applicazioni numeriche di algoritmi illustrati nel corso delle lezioni. In particolare saranno trattati i seguenti temi:

**a) Molle:** molle ad elica cilindrica, a tazza e relativi materiali.

- b) Organi per il contenimento dei fluidi:** recipienti cilindrici, fondi piani, sferici, flange e guarnizioni.  
**c) Elementi di collegamento:** viti, bulloni, chiavette, collegamenti forzati, saldature, cuscinetti a rotolamento, cuscinetti radenti, basamenti e carcasse.  
**d) Elementi per la trasmissione del moto:** ruote dentate, cinghie, pulegge, alberi ed assi, alberi a gomito, bielle, giunti.

Verranno inoltre eseguite alcune esercitazioni di laboratorio aventi lo scopo di determinare le caratteristiche meccaniche di alcuni materiali tipici in diverse condizioni di cimento.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta (a carattere non selettivo) ed in una prova orale.

La prova scritta, della durata di 2 ore, riguarderà un tema analogo a quelli svolti nelle esercitazioni. Gli allievi che avessero dimostrato nel colloquio, sostenuto al termine del corso di esercitazioni, di aver acquisito la capacità di eseguire il dimensionamento e la verifica di un organo di macchina, saranno esentati dalla prova scritta.

#### *Libri consigliati*

- Belloni G.: *Appunti per le lezioni di Costruzione di macchine*. Edizioni Spiegel, Milano, 1996  
 Belloni G., Bernasconi G.: *Sforzi deformazioni e loro legami*. Edizioni Spiegel, Milano, 1984.  
 Belloni G., Bernasconi G., Bertolini I.: *Verifica della resistenza. Manuale dell'Ingegnere*. Hoepli, Milano, 1985  
 Bernasconi G., (Ed): *Lezioni di costruzioni di macchine*. CLUP, Milano, 1985.  
 Bertolini I., Bazzaro E.: *Lezioni di costruzione di macchine - Resistenza dei materiali*, II ed.. Masson Italia Editori, Milano, 1993.  
 Massa E., Bonfigli L.: *Costruzione di macchine*, Voi. 1. Masson Italia Editori, Milano, 1979.  
 Massa E.: *Costruzione di macchine*, Voi. 2. Masson Italia Editori, Milano, 1979.  
 Sirtori S.: *Il metodo degli elementi finiti nell'analisi delle tensioni*. Edizioni Spiegel, Milano, 1996.

## **COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE E ROBOT** **Prof. Ambrogio GIROTTI**

**000841**

#### *Programma d'esame*

- 1. Generalità sulle macchine utensili.** Loro classificazione in funzione delle modalità operative. Forze, velocità e potenze di taglio in tornitura e fresatura. Razionale sfruttamento delle capacità dell'utensile e della macchina. Forze e potenze nel taglio ed imbutitura della lamiera.
- 2. L'azionamento delle macchine utensili con motore elettrico a velocità costante.** Cambi di velocità a rapporti discreti ed ottimizzazione della loro scomposizione col metodo di Germar. Dispositivi per selezionare le velocità. Variatori meccanici. Sistemi per ottenere  $v=\text{cost}$ .
- 3. L'azionamento delle macchine utensili con attuatori idraulici.** Tipologia e parametri caratteristici di pompe, motori, cilindri e relativi organi di regolazione. Circuiti compensati. Sistemi di equilibratura idraulica.
- 4. L'azionamento delle macchine utensili con motori elettrici a corrente continua.** Motori da mandrino, equazioni fondamentali, alimentatori statici reversibili retroazionati. Motori d'avanzamento convenzionali e brushless. Alimentatori e sistemi di controllo per macchine a controllo numerico continuo.

**5. Elementi strutturali delle macchine utensili.** Morfologia e calcolo delle guide. Tribologia ed eliminazione dei giochi. Elasto-statica, elasto-dinamica, elasto-termica delle strutture in ghisa ed acciaio. Architettura strutturale caratteristica delle varie famiglie di macchine. Vibrazioni autoeccitate dal processo di taglio e teoria del chatter.

**6. Il sostentamento idrostatico.** Principio e relazioni fondamentali. Sistemi a pressione costante, portata costante, a rigidità infinita. Applicazioni alle coppie cinematiche fondamentali (prismatica, rotooidale, elicoidale). Criteri di ottimizzazione. Esempi applicativi.

**7.1 cuscinetti volventi nelle macchine utensili.** Principi generali, relazioni fondamentali, tipologia, criteri di applicazione. Cuscinettamento dei mandrini: precisione, rigidità, velocità, riscaldamento, registrazione. Cuscinettamento delle viti a sfera.

**8. Attuatori per il comando d'avanzamento delle Macchine utensili.** Tipologia. Rendimenti. Eliminazione dei giochi. Criteri di scelta in funzione di: carichi, masse, corse, applicazioni.

**9.1 complementari delle macchine utensili.** La macchina utensile come sottosistema integrato ed inserita in un sistema operativo integrato. Movimentazione di truciolo, utensili, accessori, pallets portapezzo. Protezione della macchina e dell'ambiente. Ergonomia ed ecologia.

**10. Il controllo automatico flessibile della macchina.** Fondamenti del controllo numerico. Trasduttori di posizione. Sistemi di feed-back. Controllo adattativo tecnologico e geometrico. Interazione di meccanica ed elettronica nelle prestazioni. Compensazioni elettromeccaniche CNC - DNC.

**11. Automazione integrata delle lavorazioni.** La cella di lavorazione. I sistemi flessibili di lavorazione (FMS). Gestione di macchine; utensili; pezzi; sistemi ausiliari di ribaltamento, lavaggio, misura dei pezzi. Sistemi di simulazione. Monitorizzazione. La Tool Room. Sistemi di comunicazione ad alta immunità. Compiti e gerarchia dei sistemi di controllo e gestione; loro distribuzione ottimizzata. Funzionamento in degradato.

#### *Esercitazioni*

Progetto di una macchina utensile o di suoi componenti fondamentali a partire dai dati operativi caratteristici. Il progetto comprende: esame tecnologico generale; calcolo statico e dinamico dei componenti; disegno costruttivo delle parti considerate.

Le esercitazioni comprenderanno anche conferenze di noti esperti e discussioni collegiali sulla totalità dei progetti elaborati.

#### *Modalità d'esame*

Lo studente illustra il progetto eseguito rispondendo a domande collegate ai problemi tecnici, tecnologici e costruttivi connessi al lavoro. Altre domande su argomenti trattati nel corso completano l'esame.

#### *Libri consigliati*

Appunti alle lezioni del corso: dispense reperibili alle esercitazioni.

Per consultazione si rimanda ai seguenti testi:

N.S. Atscherkane: *Les machines-outils travaillant par enlèvement de metal*, La Société de Publication Mécaniques - 15, Rue Bleue, Paris (9) - R.C. Seine 57 B 1378

Max Kronenberg: *Grundzuege der Zerspanungslehre*, Springer Verlag.

G.F. Micheletti: *Tecnol. Meccanica - Il taglio dei metalli*, UTET.

R. Chiappulini: *Comandi e servomeccanismi idraulici delle macchine utensili*, ETAS KOMPASS.

F. Koeningsberger: *Design Principles of Metal Cutting Machine Tools*, Pergamon Press.

Max Coenen: *Elemente des Werkzeugmaschinenbaues - Ihre Berechnung und Konstruktion*, S. Hilzel Verlag, Leipzig.

Schoerke: *Werkzeugmaschinen Getriebe*, Georg Westermann Verlag.

E. Stephan: *Optimale Stufenraedergetriebe fuer Werkzeugmaschinen*, Springer Verlag.  
 S.A. Tobias: *Machine Tool Vibration*, Blackis, Glasgow.  
 Herbert E. Merrit: *Hydraulic Control Systems*, John Wiley & Sons Inc., Mew York, London.  
 Herwart Opitz: *Moderne Produktions - Technik, Stand und Tendenzen*, Verlag W. Girardet, Essen.  
 F. Koenigsberger and J. Tlusty: *Machine Tool Structures*, Pergamon Press, Oxford, London.  
 The University of Manchester Institute of Science and Technology - Machine Tool Engineering Divisioni *Specifications and Tests of Metal Cutting Machine Tools*, Voi. 1 and 2 - Revell and George Limited - Manchester M46JD.  
 Manffed Weck: *Werkzeugmaschinen*, VDI Verlag.

## COSTRUZIONE DI MACCHINE MOVIMENTO TERRA

AR0142

Prof. Piermaria DAVOLI

### Programma d'esame

1. **Generalità.** Importanza dell'industria produttrice di macchine movimento terra e sua collocazione. La produzione e i grandi produttori mondiali di macchine movimento terra.
2. **Cenni storici.** Il movimento terra nell'antichità. Il movimento terra ed il suo sviluppo nel XX secolo.
3. **Le macchine per il movimento terra: quadro generale delle caratteristiche tecniche e funzionali, della struttura, degli attrezzi e del ciclo di lavoro delle macchine movimento terra.**
  - 3.1 Trattore cingolato (*track-type tractors*);
  - 3.2 escavatore (*excavator*);
  - 3.3 pala caricatrice (*loader*);
  - 3.4 motolivellatrice (*motorgrader*);
  - 3.5 ruspa semovente (*motorscraper*);
  - 3.6 tema (*backhoe loader*);
  - 3.7 autocarro con cassone ribaltabile (*dumper*).
4. **Fondamenti di geotecnica.**
  - 4.1 principali tipi di terreni;
  - 4.2 il terreno come materiale composito;
  - 4.3 classificazione dei terreni;
  - 4.4 comportamento meccanico e capacità portante del terreno.
5. **La locomozione su strada e fuori strada. La locomozione con ruote gommate e con cingoli.**
  - 5.1 equilibrio del veicolo;
  - 5.2 equilibrio della mota;
  - 5.3 interazione veicolo-terreno (*terramechanics*);
  - 5.4 resistenza all'avanzamento (mota, cingolo);
  - 5.5 forza di trazione (mota, cingolo);
  - 5.6 prestazioni dei veicoli fuoristrada;
  - 5.7 la trazione su due assali;
  - 5.8 la sterzata (veicoli a mote e cingolati).
- 6.1 **componenti fondamentali delle MMT.**
  - 6.1 Il motore diesel turbo e aspirato: coppia, potenza, consumo; criteri per la scelta del motore;
  - 6.2 trasmissioni: generalità, equazione fondamentale; cambi a contralberi ed epicicloidali; azionamento *power shift*;
  - 6.3 gli organi di trasmissione: giunti, giunti cardanici e omocineticici; ingranaggi (complementi);

- 6.4 giunto idraulico; convertitore di coppia;
- 6.5 freni a disco, a secco e in bagno d'olio;
- 6.6 catene di trasmissione;
- 6.7 pneumatici.

### **7. Richiami di idraulica e fondamenti di oleodinamica.**

#### **8. Circuiti oleodinamici e loro componenti.**

- 8.1 componenti operatori (pompe), a cilindrata costante e variabile;
- 8.2 componenti attuatori (motori);
- 8.3 componenti di controllo e regolazione;
- 8.4 componenti accessori;
- 8.5 trasmissioni idrostatiche.

#### **9. Normativa e sicurezza nelle macchine movimento terra; prove e collaudi.**

#### *Esercitazioni e visite*

Le esercitazioni verteranno sul progetto generale di un escavatore, sulla locomozione, sul circuito idraulico di una macchina, sulle trasmissioni idrocinetiche-meccaniche.

Fanno parte integrante del corso alcune visite tecniche, che si svolgeranno durante l'anno accademico, in date scelte opportunamente in relazione allo svolgimento degli argomenti del programma.

Le visite previste sono:

- ad un cantiere, ad una miniera o ad una cava, per vedere le macchine in esercizio;
- ad uno o più stabilimenti dove vengono progettate e costruite macchine movimento terra;
- ad un'officina di grande manutenzione, per vedere i componenti e prove sui componenti;
- al CEMOTER (Istituto per le Macchine Movimento Terra e Veicoli Fuoristrada del CNR a Ferrara).

Le visite saranno occasione di incontro con tecnici e progettisti che lavorano nel settore delle macchine movimento terra.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

#### *Tesi di Laurea*

E' possibile svolgere Progetti o Tesi di laurea su argomenti che riguardano le macchine movimento terra, in collegamento con industrie del settore.

#### *Testi consigliati*

Dispense del corso a cura del docente, nelle quali sono trattati tutti gli argomenti del corso.

Gli altri testi consigliati, che possono essere consultati presso la Sezione Veicoli Terrestri del Dipartimento di Meccanica, sono:

H. L. Nichols jr., *"Moving the earth - The workbook of excavation"*, third edition, McGraw-Hill, New York, 1976 (edizione italiana: *"Il manuale dei movimenti di terra"*, SICIT, Milano, 1981).

*"The Off-road Vehicle"*, volume 1, TAPPI, Atlanta, 1989.

J. W. Wong, *"Theory of ground vehicles"*, 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, 1993.

J. W. Wong, *"Terramechanics and Off-road Vehicles"*, Elsevier, 1989.

V. Romano, *"Locomozione fuori strada"*, Pitagora, Bologna, 1988.

G. Rigamonti, *"Oleodinamica e Pneumatica"*, seconda edizione, Hoepli, 1987.

M. J. Pinches, J. G. Ashby, *"Power Hydraulics"*, Prentice Hall, 1989.

H. Martin, *"The design of hydraulic components and systems"*, Ellis Horwood, 1995.

H. Speich, A. Bucciarelli, *"L'oleodinamica - principi, componenti, circuiti"*, Tecniche Nuove, 1988.

## **COSTRUZIONE DI MATERIALE FERROVIARIO**

**AR0111**

**Prof. Gianpiero MASTINU**

### *Programma d'esame*

- Generalità dei sistemi di trasporto a guida vincolata (sistemi ferroviari, metropolitani, tramviari).
- Veicoli su rotaie, a guida vincolata su pneumatici, veicoli su monorotaia.
- Classificazione morfologica del materiale rotabile: condizioni imposte (scartamento, sagoma limite, caratteristiche delle linea, impianti fissi, situazioni climatiche ed ambientali).
- Resistenze al moto
- Sistema veicolo-binario
- Componenti fondamentali del materiale rotabile (casse, telai, carrelli, motori, gruppi trasmissione, sospensioni, freni, ecc.); criteri e scelte di progetto riguardanti:
  - ruote; ruote elastiche;
  - sale, sale montate;
  - elementi costruttivi del materiale rotabile: boccole, organi di collegamento;
  - sospensioni primarie e secondarie;
  - carrelli;
  - sistemi di trasmissione meccanica fra motori e ruote;
  - motori;
  - casse e telai;
  - impianti frenanti;
  - impianti ausiliari ed accessori.
- Sicurezza: problemi di base; materiali; criteri generali di progetto.
- Regolamenti e normativa internazionale.
- Note sulla progettazione ottimizzata dei sotto-sistemi del veicolo
- Costo esteso all'intero ciclo di vita di un veicolo ferroviario e scelta del materiale

### *Nota per gli Studenti*

E' previsto lo svolgimento, da parte di tutti gli Allievi, di progetto ovvero di tesi di ricerca, su argomento da concordare con il Docente.

### *Libri consigliati*

F. Di Maio: *Costruzioni di materiale ferroviario*. Ed. Levrotto & Bella, Torino 1980.

G. Vicuna: *Organizzazione e tecnica ferroviaria*, CIFI, Roma, 1986

K. Sachs: *Elektrische Triebfahrzeuge*, Springer Vlg., Berlin, 1972.

L. Mayer: *Impianti ferroviari: tecnica ed esercizio*, CIFI, Roma, 1986.

R. Panagin: *La dinamica del veicolo ferroviario*. Ed. Levrotto & Bella, Torino, 1990

C. Esveld: *Modern Railway Track*, MTR Production, Duisburg, 1989

(I predetti volumi sono disponibili presso la biblioteca della Sezione di "Veicoli Terrestri" del Dipartimento di Meccanica).

**COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI**  
**Prof. Giovanni DA RIOS****AY0004***Programma d'esame*

- 1) Caratteristiche della sede stradale e ferroviaria** - La sede delle strade ordinarie: piattaforma e solido stradale, la carreggiata e le banchine, la carreggiata in galleria e sui ponti, tipologia delle strade. La sede ferroviaria: piattaforma, scudatura, ballast, traverse, rotaie. Le linee ferroviarie ad alta velocità. Normativa tecnica
- 2) Andamento piano altimetrico delle strade ordinarie** - Lunghezza di visuale libera nelle manovre di sorpasso per strade ad unica carreggiata. Allargamento e sopraelevazione in curva. Tornanti. Raccordi progressivi. Raccordi clotoidici. Inserimento dei raccordi clotoidici nei tracciati. Cenni sulla lemniscata e sulla spirale di Searles. Raccordi verticali.
- 3) Andamento piano altimetrico delle linee ferroviarie** - Iscrizione in curva dei veicoli ferroviari. Sopraelevazione e sovrascartamento in curva. Raccordi altimetrici e pianimetrici, la parabola cubica. Inserimento del raccordo parabolico nelle curve circolari. Curve orizzontali e raccordi altimetrici nelle linee ad alta velocità. Curve verticali: dossi e curve concave.
- 4) Redazione del progetto** -1 gradi della progettazione. Ordinamenti amministrativi. Documenti di progetto e di appalto. Teoria delle reti e raffronto tra alternative progettuali. Le lunghezze virtuali. Studio della poligonale e della linea d'asse. Planimetria, profilo longitudinale e sezioni trasversali. Il volume del solido stradale. Diagramma delle aree e dei volumi. Computo metrico estimativo e capitolati d'appalto. Elaborati espropriativi. Applicazione dei calcolatori elettronici alla progettazione.
- 5) Opere d'arte maggiori e minori** - Tombini, ponticelli, ponti e viadotti: generalità, caratteristiche costruttive e riferimenti per il loro dimensionamento di massima. I muri di sostegno: tipologie e materiali, considerazioni generali sul calcolo, verifiche statiche. Opere di sostegno alternative ai muri tradizionali.
- 6) Gallerie** - Andamento pianimetrico, profilo longitudinale e sezioni trasversali. Rilievi e tracciati. Durata dei lavori e organizzazioni per l'attacco dei pozzi. Organizzazione del cantiere. Lavori di scavo: sistemi di attacco tradizionali, sistemi di attacco moderni, sistemi di attacco speciali. Calcolo delle spinte sui rivestimenti. Sistemi di ventilazione. Gallerie urbane.
- 7) Intersezioni stradali** - Intersezioni a raso: punti di conflitto, triangoli di visibilità, isole di canalizzazione, calcoli cinematici, schemi progettuali. Le rotatorie. Intersezioni a livelli sfalsati: tipi di rampe, classificazione svincoli, altimetria e calcoli cinematici, schemi progettuali e funzionali.
- 8) Aeroporti** - Classificazione e normativa ICAO. Localizzazione scali. Orientamento piste. Calcolo della lunghezza delle piste di volo. Servitù aeronautiche. Schemi di aeroporti. Cenni sulla capacità di traffico. Schemi di sovrastrutture aeroportuali.
- 9) Sovrastrutture stradali** - Pavimentazioni rigide, semirigide e flessibili: componenti tipo. I conglomerati bituminosi. Descrizione dei vari strati nelle sovrastrutture ordinarie. I cataloghi delle pavimentazioni.
- 10) Richiami integrativi** - Classificazione delle terre per usi stradali. Organizzazione dei cantieri per movimenti di terra e pavimentazioni. Capacità e livelli di servizio nel traffico stradale. Fondamenti di meccanica della locomozione. L'impatto ambientale.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nella redazione, con la guida dei docenti, del progetto di una strada o di una ferrovia, che andrà consegnato - completo in ogni sua parte - almeno una settimana prima della data dell'esame.

### *Libri consigliati*

Tesoriere: *Strade, ferrovie e aeroporti*, UTET-Torino, volumi 1 e 3.

Da Rios: *Intersezioni stradali*, CLUP-Milano.

## **COSTRUZIONI AERONAUTICHE I**

**AL0100****Proff. Cesare CARDANI, Teodoro MERLINI**

### *Nota per gli Studenti*

L'insegnamento si propone di dare agli studenti alcuni elementi di base delle principali discipline specifiche del corso di laurea in Ingegneria Aeronautica, e di introdurli nel contempo al problema del progetto delle costruzioni aerospaziali.

### *Contenuto*

**L'ambiente in cui operano le macchine volanti.** Le caratteristiche essenziali dell'atmosfera terrestre, elementi di meteorologia. L'azione gravitazionale, la spinta aerostatica e le azioni aerodinamiche.

**Elementi di aerodinamica.** Flusso subsonico attorno a corpi e superfici portanti: le componenti e le caratteristiche della forza aerodinamica. Caratteristiche e classificazione dei profili alari. Cenni al flusso transonico e supersonico.

**Le macchine volanti.** Classificazione in base ai principi di sustentazione e di propulsione.

**Il velivolo.** Descrizione, evoluzione e funzionamento delle principali parti di un velivolo: l'ala e le sue parti mobili, gli impennaggi, le superfici di controllo e gli organi di comando, la fusoliera, gli organi di atterraggio. I tipi di propulsore più impiegati: motoelica, turbogetto, razzo; il funzionamento dell'elica. Esempi di geometria variabile: gli ipersostentatori, i diruttori, l'ala a freccia variabile. Gli elementi fondamentali della struttura di un velivolo e le relative funzioni.

**Elementi di meccanica del volo.** Principali fasi di volo: il volo orizzontale rettilineo ed uniforme, il volo in salita e la planata. I parametri caratteristici del velivolo: la polare, il carico alare, la potenza installata. Le limitazioni di velocità e di quota, velocità minima di sustentamento e quota di tangenza, velocità minima e massima di volo. Valutazione delle prestazioni relative alla planata, alla salita e all'autonomia. La stabilità del volo. Le principali manovre: la richiamata e la virata, il decollo e l'atterraggio. Il fattore di carico e le sue limitazioni.

**Altre macchine volanti.** Descrizione e funzionamento di altri aeromobili. Le macchine a sustentazione aerostatica: palloni e dirigibili. Le rotodine e l'elicottero. Cenni ai veicoli spaziali.

**Elementi di tecnologie aeronautiche.** I materiali: classificazione, caratteristiche meccaniche, prove tecnologiche e trattamenti termici tipici. Principali lavorazioni: fusione, lavorazioni per deformazione plastica a caldo e a freddo, lavorazioni per asportazione di materiale. I processi costruttivi e le giunzioni: chiodatura, incollaggio.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni comprendono esercizi di aerodinamica applicata e meccanica del volo, e partecipazione a prove tecnologiche. Sono previste visite a stabilimenti ed impianti aeronautici.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in un colloquio orale. Questo può essere integrato da una preventiva prova scritta.

*Libri consigliati*

- R.S. Shevell: *Fundamentals offlight*.  
 J.D. Anderson Jr.: *Introduction to flight*.  
 A.C. Kermode: *Mechanics of flight*. (Mecanique du voi, in francese).  
 C. Caprile: *Istituzioni di Aeronautica* (Technologie).

*Libri da consultazione*

- C. E. Dole: *Flight Theory and Aero dynamics*.  
 J. Fay: *The helicopter: history, piloting and how itflies*.  
 G. Gabrielli: *Lezioni sulla scienza del progetto degli aeromobili*, voi. I.  
 A.C. Kermode: *The Aeroplane Structure*.  
 A. Lausetti: *Aeroplani*.  
 M. Marchetti, F. Felli: *Tecnologie aeronautiche*.  
 B. W. McCormick: *Aerodynamics, Aeronautics and Flight Mechanics*.  
 Rolls-Royce: *The Jet Engine*.  
 Rosolino: *Macchine utensili per lavorazioni dei metalli*.  
 D. Stinton: *The Anatomy of the Aeroplane*.  
 D. Stinton: *The Design of the Aeroplane*.  
 W. Thomson: *Thrustfor flight*.  
 D. Veschi: *L'alluminio e le sue leghe*.  
 D. Veschi: *Materie plastiche*.  
 K. D. Wood: *Technical aerodynamics*

**COSTRUZIONI AERONAUTICHE II****AL0106****Prof. Carlo CAPRILE***Programma d'esame***Parte I - PROGETTO COSTRUTTIVO**

**Richiami e applicazioni della scienza delle costruzioni:** su alcune ipotesi fondamentali - Teoria elementare della trave a guscio - Trave di Wagner - **Introduzione al calcolo strutturale:** aspetti strutturali della sicurezza del volo, navigabilità. Particolarità del calcolo strutturale - Concetti, terminologia, regolamentazioni - **Il calcolo secondo lo schema statico:** procedimento generale - Condizioni di carico e configurazioni - Analisi di alcune fra le più significative condizioni - **Altri criteri per il calcolo strutturale:** deformazioni elastiche e conseguenze particolari - Effetti della fatica - Problemi termoelastici - **Disegno strutturale:** criteri per la scelta del materiale e del tipo di costruzione - Descrizione critica dei principali sistemi costruttivi - Problemi relativi a vari elementi strutturali - Giunzioni - **Dimensionamento e verifica:** determinazione delle sollecitazioni sui principali elementi del velivolo - Criteri per il dimensionamento - Verifica della rigidità e della resistenza.

**Parte II - PROGETTO GENERALE DEL VELIVOLO**

**Specifiche:** funzionalità del velivolo - Definizione dell'impiego - Elaborazione delle specifiche - **Prestazioni e caratteristiche del velivolo:** definizione di alcune fra le più significative prestazioni e caratteristiche - Economia di esercizio - Cenni su alcuni sistemi di confronto - **Impostazione del progetto:** previsione dei pesi - Richiami sui principali problemi di scelta dell'architettura generale,

del tipo dei materiali di costruzione, dei gruppi propulsori - Dimensionamento generale del veicolo in funzione delle prestazioni richieste - Sistemi di valutazione e confronto.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono in applicazioni numeriche sugli argomenti sviluppati nelle lezioni.

#### *Libri consigliati*

Dispense del corso reperibili alla CLUP, Milano.

E.F. Bruhn: *Analysis and Design of Aircraft Structures*.

P. Vallati *Resistance des materiaux appliquée a l'aviation*.

G. Gabrielli: *Lezioni di scienza del progetto degli aeromobili*.

## **COSTRUZIONE DI AUTOVEICOLI**

**000886****Prof. Carlo DONISELLI**

#### *Programma d'esame*

- 1. Generalità** - Il movimento in natura. Schemi cinematici e resistenze al movimento. La ruota. Ruota elastica su suolo rigido. Aderenza. Ruota rigida su suolo plastico. Cingolo. Equilibrio del veicolo.
- 2. Dinamica del veicolo considerato come punto** - Forze e potenze resistenti. Adattamento del motore al veicolo. Determinazione dei rapporti di trasmissione. Prestazioni. Bilancio delle energie.
- 3. Morfologia dei veicoli** - Layout generale. Autovetture. Autobus urbani ed interurbani. Veicoli fuori-strada e plurimpiego. Veicoli speciali.
- 4. Motori per trazione** - Caratteristiche fondamentali. Motori a c.i.. Turbine a gas. Motori elettrici. Definizioni. Curve caratteristiche. Installazione del gruppo propulsore sul veicolo. Accumulatori di energia. Considerazioni comparative. Problemi ambientali.
- 5. Motori a combustione interna** - Definizioni. Grandezze fondamentali Rendimenti. Riempimento. Formazione della miscela. Combustibili e Combustione. Sovralimentazione. Determinazione delle dimensioni fondamentali di un motore. Architettura generale. Equilibramento delle forze d'inerzia. Distribuzione. Progettazione del sistema e degli organi meccanici. Gruppi ausiliari. Lubrificazione. Raffreddamento.
- 6. Dinamica del veicolo considerato come sistema** - Aderenza. Pneumatici. Deriva e relativi angoli. Momenti autoallineanti. Veicolo sottosterzante e sovrasterzante. Stabilità del veicolo. Guidabilità. Contatto ruotavia. Comfort. Veicoli a quattro ruote motrici. Veicoli a quattro ruote sterzanti. Cenno sull'integrazione dei sotto-sistemi controllati.
- 7. Sospensioni** - Sospensione elastica: caratteristiche cinematiche e dinamiche. Ruote indipendenti e sala rigida. Elementi elastici, Elementi smorzanti. Sospensioni passive (adattive), semi-attive ed attive. Progettazione delle sospensioni e degli organi componenti
- 8. Trasmissioni** - Fondamenti ed elementi per la progettazione. Cambi a gradini e cambi continui. Cambi meccanici. Innesti a frizione. Convertitori di coppia. Trasmissioni automatiche. Alberi. Giunti. Gruppi di riduzione finale. Differenziali.
- 9. Guida** - Angoli caratteristici delle ruote, geometria della sterzata. Quadrilateri di sterzata. Componenti. Sterzata integrale.
- 10. Frenatura** - Generalità. Freni a ceppi interni. Freni a disco. Dispositivi di azionamento. Freni di rallentamento. Ripartizione delle forze frenanti. Dispositivi di controllo dei momenti frenanti e motori.

**11. Strutture** - Telai. Strutture a guscio ed a traliccio.

**12. Combustibili e lubrificanti** - Generalità. Combustibili per motori Otto e diesel. Criteri di valutazione. Lubrificanti impiegati nei motori e nei veicoli.

**13. Misure e prove su motori e su veicoli** - Apparecchiature e misure effettuate in sala prove. Analisi dei gas di scarico. Misure meccaniche e termiche effettuate su autoveicoli e su parti di essi.

**14. Sicurezza e problemi ambientali** - Principi fondamentali. Normative nazionali, della Comunità europea e di altri paesi, riguardanti la sicurezza e la protezione dell'ambiente.

#### *Esercitazioni*

Tutti gli allievi dovranno svolgere un progetto oppure una tesi. Per lo svolgimento del progetto, che verterà, di regola, sullo studio del layout generale di un veicolo e/o di un sotto-sistema meccanico (motore, trasmissione, sospensione, ecc.), potranno essere formati gruppi di lavoro di 2 - 4 allievi eventualmente assistiti anche da Esperti esterni. I contenuti del lavoro saranno non solo di tipo esecutivo, ma emergeranno contributi sia creativi, sia critici; lo sviluppo sarà individuale, ma, ove possibile con coordinamento fra le parti. La tesi è un lavoro di ricerca; deve quindi contenere qualche elemento di originalità e può avere carattere teorico o teorico-sperimentale; l'attività sarà svolta, di regola, all'interno del Dipartimento. La qualifica di tesi (o progetto) potrà essere data fin dall'inizio od anche quando il lavoro sarà in una fase avanzata.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste di una prova orale, comprendente la discussione degli elaborati svolti.

#### *Libri consigliati per consultazione*

Colombo: *Manuale dell'Ingegnere Voi. II* (Capitoli: Combustibili liquidi, Autoveicoli, Motori a c.i.), Ed. Hoepli, Milano

F.A.F. Schmidt: *Verbrennungskraftmaschinen*, Ed. Oldenburg, oppure *Internal Combustion Engines*, Ed. Chapman and Hall

H. Ricardo: *The High-Speed Internal-Combustion Engine*, Ed. Blackie

Fayette Taylor: *Internal Combustion Engine*, Ed. Wiley, Voli. I e II

M.G. Bekker: *Theory of Land Locomotion*, Ed. The University of Michigan Press.

M. Mitschke: *Dynamik der Kraftfahrzeuge*, Springer Verlag.

W. Steeds: *Mechanics of Road Vehicles*, Ed. Ilife e Sons Ltd.

Le opere sopra elencate sono disponibili per la consultazione e lo studio presso la Sezione di Veicoli Terrestri del Dipartimento di Meccanica. Sono distribuiti appunti al corso.

## **COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE**

**AH0111**

(ex *COSTRUZIONE DI MACCHINE ELETTRICHE*)

**Prof. Mario UBALDINI**

#### *Programma d'esame*

##### **1) Questioni comuni a tutte le macchine.**

Norme e unificazioni. Tipi di calcolo. Relazioni elettromagnetiche (f.m.m.; flussi e permanenze, f.e.m.; induttanze e reattanze). Materiali magnetici e conduttori; perdite addizionali. Materiali dielettrici e isolamenti. Comportamento termico a regime permanente o variabile. Dimensionamento: formule e loro applicazioni.

**2) Trasformatori.**

Caratteristiche costruttive. Calcolo di verifica: perdite nel ferro e corrente a vuoto; perdite nel rame e tensione di corto circuito; sforzi elettrodinamici. Progetto.

**3) Questioni comuni alle sole macchine rotanti.**

Tipi costruttivi. Strutture magnetiche: caratteristiche costruttive; calcolo della eccitazione e delle perdite. Avvolgimenti distribuiti. Avvolgimenti trifasi: caratteristiche costruttive (tipi normali; a passo accorciato; a cave frazionarie); calcolo (fattori di avvolgimento; f.m.m.; f.e.m.; reatt. di dispers.; perdite). Gabbie: calcolo f.m.m., reattanze di dispersione, perdite. Avvolgimenti indotti per corrente continua: caratteristiche costruttive e calcolo. Avvolgimenti induttori. Collettori, spazzole e portaspazzole. Azioni meccaniche nel traferro: coppie, attrazioni trasversali.

**4) Macchine a induzione.**

Calcoli di verifica: corrente a vuoto e corr. di c.to c.to; fattore di potenza; scorrimento; coppia massima e coppia di spunto. Disturbi dovuti ai campi armonici. Progetto.

**5) Macchine sincrone.**

Calcoli di verifica: reazione dell'indotto; reattanza sincrona; rapporto di corto circuito; reattanza di Potier e reattanza a rotore estratto; reattanza transitoria e subtransitoria. Progetto.

**6) Macchine a corrente continua.**

Caratteristiche costruttive. Reazione dell'indotto. Commutazione. Progetto.

*Esercitazioni*

Riguardano, oltre al tracciamento di schemi di avvolgimento, il progetto semplificato dei seguenti tipi di macchine: trasformatore, macchina a induzione, macchina sincrona, macchina con collettore a lamelle.

Gli elaborati devono essere consegnati al Docente nel termine fissato. Gli elaborati giudicati non idonei devono essere corretti o rifatti secondo le istruzioni del Docente e ripresentati nel termine nuovamente fissato; quelli idonei vengono visti.

*Modalità d'esame*

Sono ammessi all'esame gli allievi che abbiano frequentato con sufficiente assiduità le esercitazioni e che abbiano svolto i progetti e gli schemi di avvolgimento loro assegnati, ottenendo il visto del docente. L'allievo deve portare con sé all'esame gli elaborati delle esercitazioni. L'esame è esclusivamente orale; possono essere oggetto di interrogazione anche gli elaborati delle esercitazioni.

*Libri consigliati*

F. Correggiari: *Compendio di costruzione di macchine elettriche*, Ed. La Goliardica, 1963. % Corso libero nel 91/92

**COSTRUZIONI IDRAULICHE****AU0001****Prof. Alessandro PAOLETTI***Programma d'esame*

**1. Acquedotti.** - Fabbisogno e sue variazioni nel tempo - Schemi generali - Opere di presa: da sorgenti (concentrate o diffuse), da corsi d'acqua e da laghi. - Adduttrici: a gravità o per sollevamento, a gravità in pressione o a pelo libero - Adduttrici multiple - Studio del tracciato - Problemi di progetto e problemi di verifica - Portate massime in un'adduttrice - Piezometriche d'esercizio: statica, a tubi nuovi, a tubi usati - Proporzionamento dei serbatoi: calcolo della capacità; serbatoi destinati a

uso multiplo; serbatoi per regolazione pluriannuale, annuale, stagionale, giornaliera. Gestione di serbatoi di capacità insufficiente. Caratteri costruttivi di serbatoi: forma più conveniente; tipi; schema della camera di manovra per serbatoi di testata e di estremità - Proporzionamento della distribuzione: tipi di rete - Calcolo delle reti a ramificazione aperte - Calcolo delle reti a maglie chiuse - Verifica col metodo di Cross - Sollevamenti: pompe e curve caratteristiche - Pompe in parallelo e in serie - Punti di funzionamento - Pompaggio diretto in una rete distributrice - Protezione contro i colpi d'ariete - Tubazioni per acquedotti: materiali, criteri di scelta delle tubazioni; criteri di costruzione, pressione di esercizio, collaudi, giunti e pezzi speciali. Apparecchiature accessorie, valvole.

**2. Cenni di Idrologia.** - Precipitazioni: misura delle precipitazioni in una stazione di misura, altezze ragguagliate a un'area - Acque superficiali: misura delle portate; scala delle portate di un corso d'acqua in una sezione - Coefficiente di deflusso e di afflusso - Elaborazioni più comuni: curva delle durate. Piene: formazione dell'onda di piena; modelli lineari - Metodi pratici dell'invaso e della conversione - Concetto di evento critico - Similitudine idrologica - Formule pratiche per le portate di piena.

**3. Fognature.** - Generalità: scopo; tipi di rete; ricerche preliminari - Fognature comprensoriali e locali - Analisi tecnico-economico per la scelta della soluzione ottimale - Indagini demografiche e previsioni a lungo termine - Esame delle utenze civili ed industriali - Calcolo delle acque nere: portate medie annue, medie giornaliere, del giorno di massimo consumo, di magra, di punta - Portate meteoriche da inviare al trattamento - Calcolo delle portate piovane; modelli idrologici e metodi pratici: metodo razionale; metodo di corrivazione; metodo dell'invaso - Vasche volano: utilità e campo d'applicazione - Scolmatori di piena: tipi e caratteristiche costruttive e funzionali - Impianti di sollevamento - Calcoli idraulici dei collettori: sezioni tipiche, pendenze e velocità adottabili - Pozzetti di ispezione - Manufatti di raccordo: salti, curve, confluenze, diramazioni, etc. - Cacciate - Caditoie stradali - Immissioni private - Opere di ventilazione - Materiali per le canalizzazioni - Cenni di sistemi di controllo e telecomando.

#### **4. Dighe e traverse.**

**a)** Serbatoi - Capacità necessaria per una assegnata regolazione - Regolazioni consentite da assegnate capacità: regolazione che più si avvicina a una prestabilita

**b)** Dighe: tipologia - Regolamento dighe - Dighe a gravità: profilo tipico - Verifica statica - Criteri di dimensionamento: triangolo fondamentale e coronamento - Dighe a gravità alleggerita: tipi e cenno al calcolo statico - Dighe ad arco: cenno alla verifica per anelli elastici indipendenti - Dighe a speroni: tipi, profilo dello sperone - Dighe in materiali sciolti: tipi - Linea di saturazione - Cenno alle verifiche di stabilità - Opere idrauliche di un serbatoio: scarichi di superficie: profilo delle dighe tracimabili e dispositivi per la dissipazione dell'energia della lama tracimabile - Altri tipi di scarichi di superficie. Laminazione delle piene - Scarichi di fondo e intermedi. Opere di presa.

**c)** Traverse fluviali - Tipologia - Portata di progetto - Curve di utilizzazione - Opere di presa.

**d)** Condotte e gallerie: generalità e dimensionamento; cenno al calcolo statico - Canali: generalità; dimensionamento; rivestimenti.

**5. Correnti in alvei erodibili, trasporto solido.** - Sedimenti coesivi e non coesivi - Inizio del movimento - Abaco di Shields - Forme di fondo: ripples, dune e antidune - Resistenze al moto - Trasporto di fondo: formule di Du Boys, Meyer-Peter e Muller, Einstein - Trasporto in sospensione e trasporto totale - Teoria dell'equilibrio limite e teoria del regime. Calcolo di un alveo stabile.

#### *Esercitazioni*

Riguardano le principali elaborazioni di modellistica idraulica ed idrologica nonché il calcolo di specifici dispositivi idraulici. Viene anche svolta la progettazione di massima di un acquedotto e di una fognatura.

*Libri consigliati*

A. Paoletti: *Sistemi di drenaggio urbani. Fondamenti e nuove tendenze.*  
G. Evangelisti: *Impianti Idroelettrici, Voi. I.*

*Dispense del Dipartimento I.I.A.R.*

M. Marchetti: *Fognature urbane*  
A. Paoletti *Lezioni di Idraulica Fluviale*  
*Esercitazioni di Costruzioni Idrauliche*

*Libri consigliati per la consultazione*

A. Dupont: *Hydraulique urbaine, Voi. I e II* Eyrolles, Paris.  
F. Marzolo: *Costruzioni Idrauliche*, CEDAM, Padova.  
Fair, Geyer, Okun: *Water and Wastewater Engineering, Voi. I*, John Wiley e Sons, New York.

**COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA**  
**Prof. Alberto CASTELLANI**

**AN0111**

*Programma d'esame*

**Analisi delle sollecitazioni sismiche:** Eurocodici e Normativa italiana competente, definizione del "terremoto di progetto" come intensità e spettro di frequenza dell'accelerazione del terreno; interazione struttura-fondazione-terreno; verifiche di capacità portante e di margini alla liquefazione; applicazione dell'analisi modale al comportamento degli edifici sotto azioni sismiche; calcolo delle rigidezze rispetto ad azioni laterali di un telaio con pareti di taglio; assemblaggio delle rigidezze di vari telai; condensazione statica della matrice di rigidezza di un edificio o di un telaio; criteri pratici per l'estensione dei risultati dei calcoli elastici ai sistemi sollecitati oltre il limite di elasticità; cenni alla sismicità in Italia; criterio di progetto, dimensionamento delle armature; osservazioni sui danni strutturali prodotti in terremoti recenti; duttilità delle strutture, strutture prefabbricate, murature.

**Analisi degli effetti del vento:** Normativa competente; definizione delle sollecitazioni di progetto prodotte dal vento; aerodinamica delle strutture; fonti per il reperimento dei coefficienti aerodinamici; simulazione del fenomeno atmosferico mediante la galleria del vento; effetto del vento sugli edifici durante la fase di costruzione; oscillazioni di Karman.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste nell'impostare correttamente lo schema di calcolo di un edificio multipiano generalmente nell'ipotesi di poter ricorrere ai programmi di calcolo (tipo ETABS) depositati presso il Centro di Calcolo o, in alternativa nell'ipotesi di ricorrere ad un modello sperimentale.

*Libri consigliati*

*Costruzioni in zona sismica* ed. Masson Italia Editori - Milano.

**COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA****AN0105***(Ingegneria sismica appi al territ.)***Prof. Ezio FACCIOLI***Programma d'esame***Parte I: Concetti fondamentali sui terremoti, le onde sismiche, la strumentazione, la misura e la rappresentazione della severità dei terremoti.**

1. Sismicità globale, tettonica delle zolle e grandi terremoti recenti, inquadramento sismotettonico e sismico del territorio italiano.
2. Rappresentazioni semplici della sorgente sismica, onde elastiche in 1 dimensione, amplificazione sismica locale e tecniche di calcolo, equazioni generali delle onde elastiche, onde piane, onde di tipo SH e P-SV. Modello di Brune, attenuazione anelastica e fattore Q.
3. Principi fondamentali della sismometria, condizionamento e filtraggio dei segnali sismici, magnitudo, accelerometria "strong motion" analogica e digitale, dati italiani.
4. Spettri di risposta e spettri di Fourier dei segnali sismici, tecniche numeriche di calcolo. Osservazioni sugli spettri della normativa.
5. Relazioni di attenuazione nell'ingegneria sismica, intensità e scale macrosismiche, grandi terremoti storici italiani.

**Parte II: Zonazione sismica, pericolosità e rischio.**

1. Definizioni, effetti dei terremoti sul territorio.
2. Macrozonazione, cataloghi di terremoti e loro trattamento statistico, relazione di Gutenberg-Richter, zone sismogenetiche e loro caratterizzazione probabilistica.
3. Valutazione della pericolosità sismica con metodo probabilistico e statistico.
4. Microzonazione: scala del problema, fattori che governano la risposta sismica locale, elementi di dinamica dei terreni.
5. Parametri e carte di microzonazione. Studio di casi, con particolare riferimento al territorio italiano.
6. Metodologie per la valutazione globale del rischio associato da terremoti.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni fanno parte integrante del corso, ed il loro contenuto non viene rigidamente separato da quello delle lezioni. In particolare, si impartiranno le nozioni necessarie per il trattamento numerico dei segnali sismici con le tecniche basate sulla trasformata rapida di Fourier (FFT) e per il calcolo probabilistico della sismicità locale con il metodo di Cornell. Verrà inoltre assegnata agli studenti l'esecuzione di prove pratiche.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale e nella valutazione finale sarà tenuto conto dell'esito delle prove pratiche sostenute durante l'anno.

*Libri consigliati*

Per alcune delle tematiche svolte nella prima parte del programma (Concetti fondamentali), può essere utilizzato:

B.A. Bolt: *I terremoti*, Zanichelli, Bologna.

Per la maggior parte del programma, verrà distribuito direttamente dal docente il materiale necessario.

**DIAGNOSTICA DEGLI IMPIANTI MOTORI (Corso Libero)****AK0102****Prof. Aldo COGHE***Programma d'esame*

Diagnostica come identificazione e interpretazione delle situazioni anomale di funzionamento e attivazione delle azioni correttive conseguenti. Diagnostica in tempo reale.

Modelli di riferimento per impianti motori termici.

Bilanci principali per i vari componenti, per il fluido di processo e per i fluidi ausiliari.

Richiami e ampliamenti riguardo agli elementi primari e catene di misura delle grandezze più importanti ai fini diagnostici:

- temperature dei fluidi di processo
- temperature dei metalli delle pareti
- pressioni
- velocità
- portate
- vibrazione
- rumore
- caratteristiche chimico-fisiche dei fluidi

Sistemi di controllo digitali e acquisizione dati. Implementazione delle funzioni diagnostiche. Criteri di attribuzione delle priorità di effettuazione, di elaborazione e acquisizione delle misure. Uso dei diversi livelli di interrupt e metodi di comunicazione. Interpretazione delle misure e azioni conseguenti sui parametri di processo controllati, richieste di intervento e ottimizzazione della manutenzione.

Esame delle firme (termiche, vibrazionali, acustiche).

Esame dello stato dei componenti di macchine termiche, tecniche di ispezione non intrusive, ispezione endoscopica, misura degli spessori di incrostazione.

*Libri consigliati*

R.P. Benedict: *Fundamentals of temperature pressure and flow measurements*, J. Wiley & Sons.

H.P. Norton: *Sensor and Analyzer Handbook*, Prentice-Hall.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nello svolgimento in aula di semplici esercizi inerenti agli argomenti del corso. La frequenza è del tutto libera.

*Modalità d'esame*

Tutti gli allievi iscritti al corso sono ammessi all'esame. L'esame orale è preceduto da una prova scritta. L'ammissione all'orale non è condizionata all'esito dello scritto.

**DINAMICA DELLE STRUTTURE****AN0106****Prof. Federico PEROTTI***Programma d'esame*

**1. Discretizzazione di sistemi continui:** metodo delle masse concentrate e metodo delle funzioni di forma - scrittura delle equazioni del moto per sistemi lineari discretizzati conservativi e per sistemi dotati di smorzamento viscoso - effetti geometrici.

**2. Dinamica dei sistemi ad un solo grado di libertà.**

- a) Sistemi lineari conservativi: oscillazioni libere - oscillazioni forzate dovute a forze armoniche
- b) Sistemi lineari con smorzamento: oscillazioni libere - oscillazioni forzate dovute a forze armoniche e periodiche (soluzione mediante sviluppo in serie di Fourier) - risposta ad una perturbazione di legge qualsiasi con analisi nel tempo (integrale di Duhamel) ed in frequenza - oscillazioni dovute a spostamento impresso.
- c) Metodi numerici per il calcolo della risposta a forze assegnate: analisi numerica nel tempo ed in frequenza.

**3. Dinamica dei sistemi lineari aventi un numero finito di gradi di libertà.**

- a) Sistemi lineari conservativi (senza smorzamento): oscillazioni libere - pulsazioni naturali - modi principali-ortogonalità - coordinate principali - disaccoppiamento delle equazioni del moto - risposta ad una perturbazione variabile nel tempo con legge qualsivoglia
- b) metodi numerici per il calcolo delle frequenze naturali e la determinazione dei modi principali: rapporto di Rayleigh - iterazione inversa - metodo di Jacobi - metodo di Rayleigh-Ritz per il trattamento dei sistemi a molti gradi di libertà - metodo dell'iterazione nel sottospazio.
- c) Sistemi lineari in presenza di forze smorzanti: smorzamento viscoso ed isteretico - analisi modale - risposta a forze armoniche o variabili con legge qualsivoglia - applicazione alla dinamica delle travi ed alla dinamica delle strutture a telaio - applicazione alla dinamica sismica - analisi diretta per forze armoniche - analisi diretta in frequenza per forze variabili con legge qualsivoglia.
- d) metodi numerici per l'analisi diretta nel tempo (metodo di Newmark) ed in frequenza.

**4. Dinamica dei sistemi continui.**

- a) Vibrazioni flessionali delle travi: oscillazioni libere - oscillazioni principali - oscillazioni dovute a forze perturbatrici variabili con legge qualsivoglia - metodo di Rayleigh-Ritz per la determinazione degli autovalori e delle autofunzioni.
- b) Discretizzazione del continuo con il metodo degli elementi finiti: matrice delle rigidità e delle inerzie per elementi di trave e di lastra - assemblaggio delle matrici - equazioni del moto nel caso di forze e di spostamenti impressi - riduzione dei gradi di libertà mediante condensazione statica.

*Esercitazioni*

Parallelamente al corso si svolgono le esercitazioni: verranno sviluppati e discussi esercizi completi: gli allievi saranno seguiti nello sviluppo di altri simili.

*Testo consigliato*

A. Castiglioni: *Introduzione alla dinamica delle strutture*, Masson.

Gli allievi potranno inoltre consultare con profitto i seguenti testi disponibili presso la Biblioteca del Dipartimento:

R.W. Clough, J. Penzien: *Dynamics of Structures*, McGraw-Hill.

L. Meirovitch: *Computational Methods in Structural Dynamics*, Sijthoff and Noordhoff.

L. Meirovitch: *Elements of Vibration Analysis*, McGraw-Hill.

J. Argyris and H.-P. Mlejnek: *Dynamics of structures*, North Holland.

K. -J. Bathe: *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*, Prentice-Hall.

**DINAMICA E CONTROLLO DEGLI IMPIANTI NUCLEARI**  
**Prof. Antonio NOVELLI****AV0106***Programma d'esame***a) CINETICA DEI REATTORI TERMICI E VELOCI.**

**1. Generalità definizioni:** La fissione nucleare. Neutroni pronti e neutroni ritardati. Vita media neutronica e invarianti del reattore. Ciclo neutronico. Equilibrio del reattore. Reattività. Periodo stabile e periodo istantaneo. Funzioni di distribuzione del flusso neutronico.

**2. Teoria del reattore nucleare a potenza zero:** Equazioni della cinetica dei reattori nucleari a potenza zero. Passaggio delle equazioni a parametri distribuiti, alle equazioni della cinetica dipendenti dal solo tempo. Relazione analitica fra reattività e periodo asintotico. Unità di misura della reattività. Funzioni di trasferimento reattività- $\rightarrow$  densità neutronica a potenza zero. Risposta del reattore critico e in equilibrio, al gradino positivo e negativo di reattività. Il problema dell'avviamento del reattore. Transitori di ripristino della criticità. Analisi grafica dei transitori a reattività costante.

**3. Il reattore nucleare a potenza elevata:** Reattività intrinseche a breve, medio e lungo termine. Effetti di temperatura, di potenza, di vuoto, di veleni e di tasso di combustione. Coefficienti isotermi di temperatura e coefficienti di potenza per la reattività. Loro metodi di misura. Schema generale del flusso di segnale per il funzionamento del reattore in condizioni nominali. Stabilità del reattore nei diversi casi di retroazione. Avvelenamento del reattore per prodotti di fissione instabili. Dinamica dell'avvelenamento da Xenon-135 e valori di equilibrio delle concentrazioni di Xenon-135 e Iodio-135. Arresto rapido e sue conseguenze. Il problema del riavviamento in presenza di veleni. Esaurimento del combustibile, avvelenamento per prodotti di fissione stabili (Samario-149). Oscillazioni spaziali per avvelenamento da Xenon-135. Transitori spaziali per variazioni rapide di reattività. Cenni alla loro trattazione col metodo dei "Bucklings" armonici.

**b) SISTEMI NON LINEARI.**

**1. Teoria generale dei sistemi autonomi:** Soluzione analitica locale-generale. Masoniano e auto-ingresso del sistema. Tracciamento degli schemi di flusso parametrici. Stabilità generale.

**c) CALCOLO ANALOGICO.**

**1. Elementi di calcolo analogico:** L'amplificatore operazionale: suo impiego come sommatore e integratore. Attenuatore e suo impiego.

**2. Applicazione al controllo del reattore:** Simulazione analogica delle equazioni della cinetica del reattore a potenza zero e del reattore con retroazioni di potenza. Reattivimetri analogici.

**d) SISTEMA DI CONTROLLO DEGLI IMPIANTI ELETTRONUCLEARI.**

**1. Introduzione:** Funzioni e caratteristiche del sistema di controllo di un impianto elettronucleare.

**2. Caratteristiche di funzionamento in condizioni quasi stazionarie:** Variazioni di reattività. Variazioni di reattività a medio e lungo termine. Programmi stazionari di funzionamento.

**3. Sistema di controllo:** Controllo del reattore. Schemi generali di regolazione per impianti con reattori termici. Schemi generali di regolazione per impianti con reattori veloci. Caratteristiche del sistema di protezione. Affidamento dei sistemi di protezione. Uso dei calcolatori numerici in linea.

**4. Sensori:** Concetti generali: strumentazione convenzionale. Strumentazione Nucleare. Strumentazione speciale. Esempio di strumentazione di un reattore.

**5. Canali di elaborazione:** Canali di regolazione. Canali di protezione.

**6. Attuatori:** Generalità sugli attuatori del sistema di controllo. Esempi di attuatori di controllo di impianti elettronucleari. Principali caratteristiche neutroniche degli attuatori di controllo della reattività. Esempio di barre solide, caratteristiche costruttive e di funzionamento.

Esempi di barre fluide. Attuatori del sistema del moderatore e del sistema termovettore.

**e) DINAMICA DEGLI IMPIANTI NUCLEARI: ANALISI E MISURE.**

**1. Dinamica degli impianti nucleari:** Generazione della potenza termica nel nocciolo e suo trasferimento al refrigerante. Dinamica del refrigerante. Dinamica del circuito termovettore.

**2. Misure delle caratteristiche dinamiche:** Misura delle funzioni di trasferimento. Spettri di potenza di rumore stazionario. Funzioni di auto e mutua correlazione. Perturbazione a sequenza binaria. Applicazioni a reattori nucleari.

**3. Misure di reattività:** Metodi sperimentali per ottenere uno standard di reattività.

*Esercitazioni*

Uso dei metodi di Bode e di Nyquist. Uso del metodo del luogo delle radici. Risposta al gradino di reattività. Studio della funzione di trasferimento della cinetica neutronica. Cinetica neutronica con una o più retroazioni semplici. Combustibile: metodi di cellizzazione. Refrigerante: Problemi di trasporto. Dinamica di un impianto nucleare. Regolazione della pressione. Dinamica di un impianto nucleare regolato.

*Libri consigliati*

T.J. Thompson, J.G. Berckerley Editors: *The technology of nuclear reactor safety*. Voi. I: *Reactor Physics and Control*. The M.I.T. Press 1974.

G. Colombo: *Manuale dell'ingegnere*, 81a ed. Hoepli 1985, Sez. O.

A. Novelli: *Elementi di controllo dei reattori nucleari*, CLUP, marzo 1985.

**DINAMICA E CONTROLLO DEI PROCESSI CHIMICI (1/2 annualità)****AF0109****Prof. Maurizio ROVAGLIO***Programma d'esame***1. Introduzione.**

Dinamica e controllo di processo, obiettivi, cenni storici, prospettive e incentivi nel controllo dei processi chimici. Applicazione e sviluppo di sistemi avanzati di controllo.

**2. Dinamica.**

Dinamica nel dominio del tempo: Linearizzazione e variabili di perturbazione, modelli lineari del primo ordine e di ordine superiore. Sistemi non lineari, sistemi di equazioni algebrico-differenziali alle derivate ordinarie e alle derivate parziali, algoritmi per la risoluzione numerica. Esempi ed applicazioni relativi ai forni industriali e al funzionamento ciclico dei reattori chimici.

Dinamica nel dominio di Laplace: definizioni, trasformate di Laplace di alcune funzioni base, trasformata della derivata e dell'integrale, teorema del valore iniziale e del valore finale. La risoluzione dei sistemi lineari di equazioni differenziali. Funzioni di trasferimento e modelli "input-output". Dinamica dei sistemi del primo ordine e di ordine superiore. Esempi ed applicazioni relativi allo studio della stabilità dei reattori chimici e ai transitori di unità di scambio termico.

Dinamica nel dominio delle frequenze: teoremi base e rappresentazione, diagrammi di Nyquist, diagrammi di Bode, diagrammi di Nichols. Esempi ed applicazioni.

Modelli di Identificazione: metodi diretti, metodi a impulso, metodi a gradino. Esempi ed applicazioni.

**3. Controllo in retroazione.**

Introduzione al controllo in retroazione. Comportamento dinamico e risposta dei sistemi controllati in retroazione. Analisi di stabilità. Criteri e metodi di progetto del controllore in retroazione. Sistemi multivariabile ed introduzione al controllo d'impianto. Gradi di libertà e variabili controllate. Configurazioni alternative e criteri di scelta. Interazioni e disaccoppiamento. La definizione della

struttura globale di un sistema di controllo con riferimento ad un impianto di frazionamento primario di greggio.

#### **4. Tecniche di controllo avanzato.**

Compensazione del tempo di ritardo. Controllo dei sistemi con risposta inversa. Controllo selettivo e controllo in cascata. I sistemi di controllo in anteazione. Controllo adattivo e controllo inferenziale. Esempi di applicazioni relativi al progetto di un sistema di controllo per distillazione azeotropica ed eterogenea.

#### **5. Controllo digitale.**

Dai sistemi continui ai sistemi discreti, conversioni ed interfacce analogico/digitali. Le trasformate Z. Risposta dinamica di un sistema discreto. Il progetto di un sistema di controllo digitale. Architettura del controllo distribuito, PLC e tecniche di programmazione. Ottimizzazione e strutturazione gerarchica del controllo. Filosofia del controllo integrato.

#### *Esercitazioni*

Esercitazioni pratiche sugli argomenti del corso saranno svolte su calcolatore attraverso l'ausilio di programmi oggi commercialmente disponibili (CONSYD, SPEEDUP, DYCODIS). Sono inoltre previste esercitazioni teorico-pratiche su sistemi DCS messi a disposizione da ditte specializzate operanti nel settore.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sulla materia del corso.

#### *Libri consigliati*

Luyben: *Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers*, Me Graw-Hill Book Co., New York, NY (1989).

Stephanopoulos: *Chemical Process Control An Introduction to theory and Practice*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliff, NJ (1984).

Morari, Zafiriou: *Robust Process Control*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ (1989).

Tsai, Lane, Lin: *Modern Control Techniques for the Processing Industries*, Marcel Dekker Inc., New York, NY (1986).

## **DINAMICA E CONTROLLO DELLE MACCHINE**

**AK0109**

**Prof. Silvano PASINI**

#### *Programma d'esame*

### **1. INTRODUZIONE E GENERALITÀ'.**

**1.1.** Le macchine idrauliche e termiche ed i relativi impianti, considerati sotto l'aspetto dell'avviamento, del funzionamento fuori progetto, della regolazione e dei transistori.

**1.2.** Comportamento delle macchine: curve caratteristiche, similitudine e teoria dimensionale. Classificazione. Influenza della viscosità, della cavitazione e della comprimibilità.

**1.3.** Richiami di fluidodinamica: equazioni di moto e di conservazione dell'energia dei fluidi, ugello di De Laval, teoria della portanza e resistenza.

**1.4.** Fenomeni di instabilità nelle macchine.

### **2. NOZIONI FONDAMENTALI SULLA REGOLAZIONE E SUI REGOLATORI.**

**2.1.** Generalità sulla regolazione. Concetti fondamentali. Definizioni.

**2.2.** Descrizione e rappresentazione di sistemi dinamici. Funzione di trasferimento. Stabilità.

2.3. Aspetti e logica della regolazione per macchine motrici ed operatrici. Regolazione turbogruppo in marcia singola. Funzionamento di turbogruppi in parallelo tra loro e con la rete.

2.4. Regolatori tachimetrici e tachiaccelerometrici. Principali configurazioni dei regolatori meccanici, idraulici, elettrici ed elettronici, funzione del variagiri e del limitatore di carico. Analisi di tacheogrammi.

2.5. Protezioni di una macchina e loro coordinamento con il regolatore.

### **3. MACCHINE A FLUIDO INCOMPRESSIBILE.**

3.1. Utilizzazione della teoria della similitudine e dei diagrammi collinari per una macchina idraulica anche in condizione di fuori progetto.

3.2. Il laboratorio per la prova e lo sviluppo delle macchine idrauliche; condizioni di cavitazione sperimentale in impianti prova.

3.3. Impianti di accumulazione: giustificazione, organizzazione e architettura delle macchine. Aspetti del funzionamento e peculiarità dei transitori.

3.4. "Mini" turbine idrauliche: caratteristiche di funzionamento.

3.5. La regolazione delle macchine idrauliche: schemi a blocchi e parametri di regolazione. Funzione di trasferimento gruppo turbina-condotta-alternatore. Funzionamento in rete isolata o nazionale. Regolazione minicentrali.

3.6. Regolazione macchine operatrici; intervento delle valvole; problemi di moto vario.

### **4. MACCHINE A FLUIDO COMPRESSIBILE.**

#### **4.1. Compressori di gas.**

4.1.1. Richiami sulla logica della configurazione in relazione ai diversi impieghi.

4.1.2. Prestazioni dei compressori: curve caratteristiche e loro determinazione sperimentale.

4.1.3. Funzionamento e regolazione.

4.1.4. Aspetti dell'esercizio; protezioni.

#### **4.2. Camere di combustione per turbine a gas.**

4.2.1. Prestazione dei combustori e influenza dei diversi fattori su combustione e rendimento.

#### **4.3. Turbina a gas.**

4.3.1. Richiami sulla configurazione delle macchine e degli impianti in relazione alle caratteristiche ed alla esigenza dell'utilizzatore. Scelta del numero di giri e del numero degli alberi.

4.3.2. Regolazione degli impianti di turbina a gas; transitori di avviamento e fermata.

4.3.3. Applicazione all'autotrazione e regolazione relativa.

#### **4.4 Rigeneratori e recuperatori.**

4.4.1. Configurazione delle macchine in relazione ai diversi impieghi.

4.4.2. Comportamento nei transitori

#### **4.5 Impianti con turbina a vapore.**

4.5.1. Organizzazione e regolazione di centrali termoelettriche con turbina a vapore, anche in relazione al generatore di vapore. Aspetti dell'esercizio.

4.5.2. Regolazione dell'impianto e comportamento nei transitori. Struttura gerarchica del sistema e principali strategie di controllo.

4.5.3. Funzionamento e prestazioni del generatore di vapore; regolazione con variazione dell'eccesso d'aria, ricircolazione e gas tempering. Attemperatori.

#### **4.6 Motori termici alternativi.**

4.6.1. Richiami cicli e grandezze

4.6.2. Regolazione e curve caratteristiche di funzionamento

4.6.3. Carburazione ed iniezione: sistemi di regolazione

### **5. DIAGNOSTICA DELLE MACCHINE A FLUIDO.**

5.1. Problematica delle macchine in situazioni anomale di funzionamento: identificazione dei fenomeni evidenziati, interpretazione circa le cause ed attivazione delle azioni correttive necessarie.

- 5.2. Diagnostica in tempo reale. Modelli di riferimento ed implementazione di funzioni diagnostiche.  
 5.3. Esame delle firme (termiche, vibrazionali, acustiche) e dello stato dei componenti (tecniche di ispezione non intrusive).  
 5.4. Richieste di intervento manutentivo (programmato o di emergenza).

#### *Esercitazioni*

In sede di esercitazione saranno sviluppate applicazioni connesse agli argomenti oggetto del corso. Le esercitazioni includono anche attività pratiche di laboratorio, che consentano di acquisire un minimo di familiarità con strumentazione e metodologie di prova di macchine rientranti nell'ambito del corso, nonché visite ad impianti e partecipazione a seminari didattici di approfondimento di specifici argomenti dell'insegnamento.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sugli argomenti in programma

#### *Libri consigliati*

- P.M. Pellò - *Complementi di Macchine* - Voi. 1 e 2- Ed. CLUP - Milano  
 P.M. Pellò - *Turbocompressori e turbogas nel settore industriale* - Ed. CLUP - Milano  
 G. T. Csanady: *Theory of Turbomachines*, Ed. McGraw-Hill, New York  
 S. Bittanti, N.Schiavoni: *Modellistica e Controllo*, Voli. I e II, Ed. CLUP, Milano.  
 H. P. Norton: *Sensor and Analyzer Handbook*, Ed. Prentice-Hall.

## **DIRITTO AMMINISTRATIVO**

**000844**

**Prof. Pierluigi MANTINI**

#### *Programma d'esame*

Sin dalla sua nascita, con Regio Decreto 13 novembre 1863, il Politecnico di Milano ha progressivamente ampliato i propri orizzonti cognitivi e didattici integrando i diversi profili disciplinari sollecitati dall'evoluzione scientifica, culturale e professionale.

Tra le più recenti acquisizioni occorre annoverare lo studio del diritto che è disciplina oggi necessaria non solo ai fini di un corretto esercizio della professione e della gestione di attività ma anche sotto il profilo prettamente formativo e culturale.

Il diritto urbanistico e dell'edilizia, la legislazione degli appalti e delle opere pubbliche, la disciplina giuridica delle risorse naturali e dell'ambiente costituiscono oggi settori di vitale interesse per l'esercizio delle professioni tecniche e per le attività degli enti pubblici e delle imprese.

Il Corso di lezioni si articola in quattro parti.

Nella **prima**, comune a tutti gli indirizzi di laurea, verranno presi in considerazione gli istituti giuridici fondamentali: l'assetto costituzionale e istituzionale; l'Unione Europea; i rapporti Stato-Regioni; l'ordinamento delle autonomie locali; i principi del diritto amministrativo e i principali sviluppi.

Nella **seconda** parte saranno trattati i principali temi del diritto urbanistico: la legislazione speciale di riferimento; la pianificazione territoriale e urbanistica; gli atti di controllo e la concessione edilizia; l'abusivismo e le sanzioni; le norme tecniche sulla sicurezza e sulla qualità (in specie legge 626/1995 e norme di derivazione europea).

La **terza** parte del Corso è dedicata alla legislazione sui lavori pubblici ed in particolare alla recente riforma conosciuta come "legge Merloni". Saranno approfonditi i temi riguardanti la pro-

grammazione, la progettazione, i sistemi di gara, la direzione dei lavori, il collaudo, le garanzie e le responsabilità.

Le parti seconda e terza saranno oggetto di particolari approfondimenti per gli iscritti ai corsi di laurea in ingegneria civile e ingegneria edile.

La parte **quarta** del Corso è infine dedicata alle principali problematiche del diritto dell'ambiente ed in specie ai rapporti tra strumenti urbanistici e tutela ambientale (differenze e identità); alla legislazione settoriale di protezione dagli inquinamenti (acque, aria, rifiuti, rumori); alla valutazione d'impatto ambientale delle grandi opere.

La parte quarta sarà oggetto di particolare approfondimento per gli iscritti al corso di laurea in ingegneria del territorio e dell'ambiente.

#### *Didattica*

Il Corso sarà svolto attraverso lezioni e seminari monografici di approfondimento, anche su indicazione dei frequentanti.

Saranno privilegiate le metodologie interattive e le occasioni di *feed-back*.

#### *Modalità di esame*

L'esame sarà svolto attraverso una prova scritta (domande e quesiti con sistema *multiple choices*) e una prova orale per gli ammessi.

Le liste degli idonei saranno esposte nella bacheca di Istituto almeno tre giorni prima della prova orale.

Per i frequentanti potranno essere concordate modalità diverse in relazione al programma.

Vigono, per il resto, le regole generali della Facoltà.

#### *Bibliografia e testi per l'esame*

Mantini P.(a cura di) *Dispensa di diritto amministrativo*, Ed. CUSL, 1996;

Mantini P., Assini N. *Manuale di diritto urbanistico* Giuffrè, Milano, 1996.

Con i frequentanti potranno essere concordate modalità diverse.

## **DIRITTO COMMERCIALE** **Prof. Alberto TOFFOLETTO**

**AQ0104**

#### *Programma d'esame*

### **PARTE I. L'impresa commerciale e le sue forme organizzative.**

#### **A. L'imprenditore.**

1. Il concetto di imprenditore.
2. Imprenditore commerciale.
3. Imprenditore agricolo.
- 4. Il piccolo imprenditore.**
5. La disciplina (lo "statuto") dell'imprenditore commerciale.

#### **B. Le società di persone.**

1. Il contratto di società.
2. La società semplice.
3. La società in nome collettivo.
- 4. La società in accomandita semplice.**

#### **C. Le società per azioni.**

1. Origini storiche delle società per azioni - Disciplina del codice del 1942, riforma del 1974 e tematica della grande impresa e dei gruppi.
2. La fattispecie costitutiva.
3. L'azione: a) come documento; b) come frazione di capitale; c) come complesso di diritti.
4. Le operazioni sulle azioni. Controllo e gruppi.
5. L'assemblea.
6. Gli amministratori.
- 7.1 sindaci. Le società di revisione.
- 8.1 bilanci.
9. Emissione di obbligazioni.
10. Controllo giudiziario.
11. Le modificazioni dell'atto costitutivo.
12. La fattispecie estintiva.
13. Trasformazione, fusione e scissione.

**D. Le altre società di capitali.**

1. La società in accomandita per azioni.
2. Le società a responsabilità limitata.

**E. Le società a scopo mutualistico.**

1. Le cooperative e le mutue assicuratrici.
2. Consorzi e società consortili.

**F. Le società speciali.**

1. Società con azioni quotate in borsa.
2. Società di gestione di fondi comuni di investimento.
3. Società finanziarie, bancarie e assicurative.
4. Società di intermediazione mobiliare.
5. Società di professionisti.

**PARTE II. I beni dell'impresa commerciale.**

**A. L'azienda.**

1. Definizione dell'azienda.
2. Negozi e diritti sull'azienda.
3. Difesa dell'azienda.
4. La concorrenza sleale.

**B. I segni distintivi e la proprietà intellettuale e industriale.**

1. La ditta e l'insegna.
2. Il marchio.
3. Il brevetto per l'invenzione.
- 4.1 modelli industriali.
5. Il copyright.

**C. I titoli di credito.**

1. Cambiale.
2. Assegno.
3. Gli altri titoli di credito.

**PARTE III. L'attività dell'impresa commerciale.**

**A. I contratti di fornitura e distribuzione.**

1. Compravendita.
2. Somministrazione.
3. Contratto estimativo.

4. Distribuzione esclusiva.
5. Concessione di vendita.
6. Agenzia.
7. Franchising.

**B. I contratti di appalto, di servizi e di finanziamento.**

1. Mandato e commissione.
2. Spedizione.
3. Trasporto.
4. Deposito.
5. Assicurazione.
- 6.1 contratti bancari.
7. Leasing.
8. Factoring.

**C. I contratti di cooperazione.**

1. Contratti di joint venture.
2. Contratti di ricerca e sviluppo.
3. Contratti di specializzazione.
4. Trasferimenti di tecnologia.
5. Licenze di brevetto.
6. Licenze di marchio.
7. Accordi che disciplinano la concorrenza.

**D. Il diritto antitrust.**

1. Le regole di concorrenza nella CEE.
2. La disciplina nazionale antitrust.

**PARTE IV. La crisi dell'impresa commerciale.**

**A. Le procedure concorsuali classiche.**

1. Fallimento.
2. Concordato preventivo.
3. Amministrazione controllata.
4. Liquidazione coatta amministrativa.

**B. Le procedure nuove.**

1. Amministrazione straordinaria.
2. Prospettive di riforma.

*Libri consigliati*

Campobasso: *Diritto Commerciale*, 3 Voi., UTET, Torino.

Per gli studenti frequentanti, il programma potrà essere preparato su: AULETTA-SALANITRO, *Diritto Commerciale*, ultima edizione, Giuffrè. Durante il corso verranno fornite le ulteriori, limitate indicazioni sulla parte del corso che non è trattata nei più diffusi manuali di diritto commerciale.

**DISEGNO**

**AJ0108**

**Prof. Pierangelo BOLTRI, Adele BURATTI MAZZOTTA, Lucio MARZANO**

*Programma d'esame*

1. Il disegno come mezzo di rappresentazione e d'espressione nella progettazione e nel rilievo di oggetti architettonici e organismi tridimensionali: concetti generali correlati a pratiche esemplificative.

zioni di disegno tecnico. Il disegno geometrico, strumenti per il disegno e loro uso corretto. Elementi di grafica; fenomenologia della visualizzazione.

2. L'unificazione e il disegno: criteri informatori e applicazioni pratiche dal disegno territoriale al dettaglio tecnologico; cenni e differenze d'impostazione in rapporto alle diverse tecniche e alle diverse scale.
3. I metodi di rappresentazione teorizzati dalla Geometria descrittiva: le proiezioni ortogonali, convenzioni nazionali ed internazionali, modalità di applicazione. Le proiezioni assonometriche ortogonali e oblique. Le proiezioni centrali e le proiezioni prospettiche; le proiezioni quotate.
4. Metodologia del rilievo di edifici e complessi edilizi esistenti, il rilievo urbano.
5. Il disegno di ingegneria: applicazione dei metodi di rappresentazione al disegno territoriale e a quello tecnico operativo; temi e problemi consono alle esigenze dei Corsi di Laurea di Ingegneria Civile, Ingegneria Edile e di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio. Cartografia, mappe catastali, ecc., esempi di rilievi e di progetti di massima od esecutivi come strumenti di studio del territorio o delle opere di ingegneria. Visualizzazioni delle interpretazioni statistiche e dei rilevamenti di fenomeni attinenti l'ingegneria e l'architettura.
6. Utilizzo delle nuove tecnologie computerizzate per la rappresentazione grafica.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni svolgeranno ogni volta temi particolari, ma tutti fondamentali, tra loro complementari e tendenti ad un corretto uso dei diversi metodi e tecniche della rappresentazione. Nel corso dell'anno accademico verranno effettuati alcuni esperimenti in aula che, dopo la loro correzione e valutazione, saranno distribuiti e commentati coi Docenti. Inoltre anche il materiale elaborato nelle esercitazioni verrà corretto e valutato.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova grafica ed in una prova orale. Gli esperimenti eseguiti in aula, corretti e valutati, costituiranno, per chi avesse positivamente seguito il corso, la base di ammissione alle prove d'esame. La prova grafica d'esame rimarrà pertanto facoltativa per coloro che desiderino integrare la valutazione del proprio rendimento annuale; sarà invece obbligatoria per gli allievi che non presenteranno una somma sufficiente di elementi di giudizio: in tal caso essi sono tenuti a prendere contatto preliminare col Docente, in anticipo sulla data d'esame.

#### *Libri consigliati*

- M. Docci: *Manuale di disegno architettonico*, Bari 1985.  
*Manuale dell'Ingegnere; Manuale dell'Architetto.*  
 Norme per il disegno tecnico, - edizioni U.N.I. - MI - Voi. I - Voi. Ii, Milano 1990.  
 M. Docci, F. Mirri, *La redazione grafica del progetto architettonico*, Roma 1989.  
 C. Mezzetti, G. Bucciarelli, L. Lunazzi, *Il disegno, analisi di un linguaggio*, Roma 1975.  
 R. De Rubertis, *Il disegno dell'architettura*, Roma 1994.  
 U. Saccardi, *Applicazione della geometria descrittiva*, Firenze 1965.  
 M. Docci, D. Maestri, *Il rilevamento architettonico. Storia metodi e disegno*, Bari 1984.  
 Durante lo svolgimento del corso verranno fornite, inoltre, bibliografie specifiche per particolari argomenti.

**DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE****AR0122**

(per gli allievi di Ingegneria Elettrica)

**Prof. Claudio LUINI***Programma d'esame***Metodo delle proiezioni ortogonali.**

Rappresentazione del punto, della retta, del piano; condizioni di appartenenza; problemi grafici fondamentali; condizioni di parallelismo; condizioni di perpendicolarità; ribaltamento del piano proiettante; distanze; ribaltamento di piano generico; terzo piano di proiezione.

**Metodo delle proiezioni centrali.**

Rappresentazione della retta, del piano, del punto.

**Prospettiva.**

La rappresentazione prospettica degli enti fondamentali. La prospettiva nelle norme. Il calcolo della trasformazione prospettica.

**Assonometria.**

L'assonometria obliqua e ortogonale: gli elementi caratteristici. La rappresentazione assonometrica degli enti fondamentali. L'assonometria nelle norme. Il calcolo delle trasformazione assonometrica.

**Computer graphics.**

Aspetti introduttivi (storia, significato dei termini usuali). La struttura di un sistema CAD (l'interprete dei comandi, l'hardware di calcolo e per la grafica, sistemi grafici). Fondamenti di computer graphics (tecniche di tracciamento per punti, clipping, windowing). Gli standards grafici (GKS, PHIGS). I metodi di visualizzazione del modello. La modellazione parametrica. Aspetti del collegamento fra CAD e lavorazioni meccaniche.

*Esercitazioni*

Esercizi di geometria descrittiva (proiezioni ortogonali, centrali, prospettiva, assonometria). La normativa nel disegno tecnico. Gli schemi degli impianti industriali. Esercizi di disegno tecnico (sezioni, viste etc.) di pezzi meccanici e di organi delle macchine. Lettura di disegni tecnici e di schemi impiantistici.

*Libri consigliati*

P. Davoli, A. Girotti, C. Luini, M.L. Veronesi: *Disegno - Metodi di rappresentazione, Disegno tecnico, Computer, Graphics, CAD*, CittàStudi, 1991.

*Altri Libri consigliati*

O. Chisini, G. Masotti Biggioggero: *Lezioni di geometria descrittiva*, Masson, 1984.

W.N. Newman, R.F. Sproul: *Principi di Computer Graphic*, McGraw-Hill, 1979-86.

S. Harrington: *Computer Graphics*, McGraw-Hill, 1983-85.

W.K. Giloi: *Interactive Computer Graphics*, Prentice-Hall, 1978.

I.F.A.O.: *CAD2D, CAD3D, CADCAM*, Tecniche Nuove, 1989.

## **DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE**

**AR0146**

(per gli allievi di Ingegneria Meccanica)

**Prof. Gian Francesco BIGGIORGGERO**

### *Programma d'esame*

#### **1. Principi di progettazione.**

1.1 L'approccio sistematico al progetto: disegno e design; filosofia e storia dei metodi di progettazione.

1.2 La strutturazione del processo di progettazione tecnica: critica dei metodi; proposta di un metodo particolarmente adatto per la progettazione meccanica.

1.3 Le correlazioni funzionali e le soluzioni costruttive: la individuazione delle principali funzioni; i sistemi fisici applicabili; gli archivi di soluzioni costruttive.

1.4 I problemi produttivi: i vincoli alla concretizzazione imposti da forme, materiali, processi tecnologici.

#### **2. Il calcolatore nella grafica e nella progettazione.**

2.1 Il ruolo del calcolatore: le attività di progettazione, la grafica ed il CAD.

2.2 I modelli bi e tridimensionali: le metodologie di costruzione e l'uso di linguaggi di personalizzazione per la generazione di ambienti operativi specifici; le rappresentazioni di curve e superfici analiticamente non definite.

2.3 L'uso di sistemi integrati: la modellazione geometrica e gli strumenti di verifica strutturale; cenni sulla modellazione per caratteristiche (features based) e sulla simulazione di oggetti e di cinematicismi.

2.4 La imitazione dei comportamenti umani intelligenti: la intelligenza naturale ed artificiale; l'uso dei sistemi esperti; cenni sulle reti neurali.

#### **3. Il disegno di macchine e la progettazione assistita.**

3.1 Sostegni alla progettazione assistita: la costituzione e la gestione di archivi; la parametrizzazione degli elementi delle macchine.

3.2 Analisi di disegni di progetto: critica funzionale di macchine esistenti; modifiche di innovazione e di ottimizzazione.

3.3 Disegno e progettazione: concretizzazione di macchine di assegnate funzioni (semplici) con proporzionamento ed elementi di prima verifica.

3.4 Comunicazioni tecniche ed automazione: ruolo e problemi della comunicazione; L'automazione e le comunicazioni tecniche grafiche (business graphics); l'organizzazione di un ufficio tecnico e l'integrazione col sistema informativo aziendale (cenni).

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni formano parte integrante del corso; in esse vengono proposti anche utilizzando sistemi di grafica interattiva, temi relativi alle parti applicative del programma per uno sviluppo ed approfondimento critico da parte degli Allievi.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova relativa agli elaborati eseguiti ed agli argomenti del programma, preceduta, per chi non abbia seguito sufficientemente, da una parte grafica da intendersi come prima domanda di esame.

### *Libri consigliati*

G.F. Biggoggero, E. Rovida: *Disegno di macchine - progettazione metodica*, Ed. CittàStudi.

G.F. Biggoggero, E. Rovida: *Disegno di macchine - esercizi programmati*, Ed. CittàStudi.

G.F. Biggoggero, R. Viganò: *Autocad per il disegno meccanico*, Ed. CittàStudi.

Durante il corso verranno predisposte specifiche dispense di supporto.

## **DISEGNO DI MACCHINE**

**AR0119**

**Prof. Carlo GORLA, Edoardo ROVIDA, Rita BRUNETTI, Gabriele CONSONNI**

### *Programma d'esame*

#### **1. Principi generali di comunicazione grafica.**

- funzioni e componenti strutturali della comunicazione
- comunicazione e dinamica percettiva
- funzioni del disegno "tecnico"

#### **2. Le tecniche del disegno.**

- fondamenti ed applicazioni di geometria descrittiva
- normazione ed esigenze di tipo tecnico industriale
- tipi di linguaggio grafico e loro scelta
- stesura e lettura del disegno

#### **3. Le tecniche grafiche interattive.**

- progettazione, disegno tradizionale e CAD
- configurazione di sistemi di grafica computerizzata
- modelli geometrici e loro utilizzo
- tecniche di visualizzazione e di dialogo

#### **4. Le funzioni meccaniche e gli organi delle macchine.**

(con riferimento e tecniche di CAD, CAM, DBMS, CAE)

- principi generali di progettazione metodica
- legami fra materiali, forme, e processi tecnologici
- imprecisioni di fabbricazione e loro controllo
- analisi morfologico-funzionale di alcune significative categorie di organi delle macchine

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni formano parte integrante del corso; in esse vengono proposti anche utilizzando sistemi di grafica interattiva, temi relativi alle parti applicative del programma per uno sviluppo ed approfondimento critico da parte degli Allievi.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova relativa agli elaborati eseguiti ed agli argomenti del programma, preceduta, per chi non abbia seguito sufficientemente, da una parte grafica da intendersi come prima domanda di esame.

*Libri consigliati*

- G.F. Biggioggero, E. Rovida: *Disegno di macchine*, Ed. Cittastudi.  
 G.F. Biggioggero, E. Rovida: *Disegno di Macchine - Esercizi programmati*, Ed. Cittastudi.  
 G.F. Biggioggero, E. Rovida: *Tolleranze lineari - Corso di Istruzione programmata*, Ed. CLUP.  
 G.F. Biggioggero, F. Giannattasio: *Disegno industriale*, Ed. CLUP.  
 G.F. Biggioggero, F. Giannattasio: *Disegno industriale - Esercizi*, ed. CLUP.  
 Davoli, Girotti, Luini., Veronesi: *Disegno* Cittastudi  
 Chisini, Masotti, Biggioggero: *Lezioni di geometria descrittiva*, Masson, 1984.  
 Newman, Sproul: *Principi di Computer Graphics*, McGraw-Hill, 1979-86.  
 S. Harrington: *Computer Graphics*, McGraw-Hill, 1983-85.  
 W.K. Cilo: *Interactive Computer Graphics*, Prentice-Hall, 1978.  
 I.F.A.O.: *CAD2D, CAD3D, CADCAM*, Tecniche Nuove, 1989.

**DISEGNO TECNICO AEROSPAZIALE**  
**Proff. Ambrogio GIROTTI, Elio ZAMPONI**

**AR0123***Programma d'esame*

1. Metodi di rappresentazione.

**1.1** Metodo delle proiezioni ortogonali: rappresentazione del punto, della retta, del piano; condizioni di appartenenza; problemi grafici fondamentali; condizioni di parallelismo; condizioni di perpendicolarità; ribaltamento del piano proiettante; distanze; ribaltamento di un piano generico; terzo piano di proiezione.

**1.2** Metodi delle proiezioni centrali: rappresentazione della retta, del piano, del punto.

**1.3** Prospettiva: la rappresentazione prospettica degli enti fondamentali; la prospettiva nelle norme. Il calcolo della trasformazione prospettica.

**1.4** Assonometria: l'assonometria obliqua ed ortogonale: gli elementi caratteristici; la rappresentazione assonometrica degli enti fondamentali; l'assonometria nelle norme; il calcolo della trasformazione assonometrica.

2. Computer graphics e CAD

**2.1** La struttura di un sistema CAD: l'interprete dei comandi; le strutture dei dati; l'hardware di calcolo e per la grafica; i sistemi grafici.

**2.2** Fondamenti di computer graphics: le tecniche di tracciamento per punti, clipping, windowing; gli standards grafici (GKS, PHIGS); i metodi di modellazione e di visualizzazione del modello; la modellazione parametrica.

**2.3** Il CAD e le tecnologie collegate: CAM, CAE, Technical Publishing.

**3.** Rappresentazione di elementi di macchina: ruote dentate, cuscinetti, alberi e mozzi, collegamenti saldati, imbullonati e chiodati.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni costituiscono parte integrante del corso. In esse si sviluppano in particolare gli argomenti riguardanti il disegno degli elementi di macchina più significativi, in relazione alla loro funzione, ai processi di ottenimento ed alle tolleranze di lavorazione.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova grafica seguita da un colloquio.

*Libri consigliati*

P. Davoli, A. Girotti, C. Luini, M.L. Veronesi: *Disegno - Metodi di rappresentazione; Disegno tecnico; Computer Graphics e CAD*, CittàStudi, 1991.

O. Chisini, G. Masotti Biggioggero: *Lezioni di geometria descrittiva*, Masson, 1984.

W.M. Newman, R.F. Sproul: *Principi di Computer Graphics*, McGraw-Hill, 1979-86.

S. Harrington: *Computer graphics*, McGraw-Hill, 1983-85.

I. F.A.O.: *CAD2D, CAD3D, CADCAM*, Tecniche Nuove, 1989.

J. Encarnacao, E.G. Schlechtendahl: *Computer Aided Design*, Hoepli, 1987, (Springer-Verlag, 1983)

**DISEGNO TECNICO INDUSTRIALE****AR0100****Proff. Gabriele DI CAPRIO, Francesco GIANNATTASIO***Programma d'esame*

**1. Il disegno tecnico industriale:** il disegno tecnico industriale come linguaggio grafico per la comunicazione delle informazioni tecniche e la sua funzione come mezzo di rappresentazione e di modellazione dei prodotti industriali per la loro progettazione e produzione. Elementi di Teoria della Forma.

**2. Le tecniche del disegno industriale:** evoluzione storica, tecniche, materiali e strumenti per il disegno industriale; problematiche del disegno manuale e del disegno assistito dall'elaboratore.

**3. La geometria applicata al disegno:** elementi di Geometria Descrittiva per la rappresentazione grafica di enti geometrici, costruzioni grafiche, intersezioni, metodi di rappresentazione mediante proiezioni ortogonali, assonometriche, prospettive, proiezioni quotate; richiami di Geometria Analitica per la rappresentazione di enti geometrici analiticamente definiti, trasformazioni e proiezioni; accenni alla rappresentazione di enti geometrici non definiti analiticamente mediante curve e superfici interpolanti o approssimanti.

**4. La normazione e le norme per il disegno tecnico industriale:** problematiche industriali tecniche ed economiche, livelli di normazione, l'armonizzazione tecnica e normativa, gli enti e gli organismi di normazione e di certificazione nazionali, europei ed internazionali; la normazione del disegno tecnico industriale; accenni alla classificazione e codifica delle parti e dei disegni.

**5. La definizione e la rappresentazione delle informazioni relative al prodotto per la progettazione e la produzione:** viste, sezioni; i principali processi tecnologici primari, secondari e di finitura; quotatura funzionale e di fabbricazione, stato di finitura superficiale, tolleranze dimensionali e geometriche; materiali metallici ferrosi e non ferrosi, materiali non metallici, loro caratteristiche in relazione all'impiego industriale, classificazione e codifica secondo le norme.

**6. Principi di grafica interattiva computerizzata:** il disegno e la progettazione assistiti dall'elaboratore (CAD), introduzione ai sistemi grafici interattivi computerizzati, configurazioni hardware e software, periferiche, interfaccia utente e funzionalità per il disegno bidimensionale e la modellazione tridimensionale; principi di Geometrical Modeling, primitive grafiche, tecniche di modellazione in relazione alle applicazioni, le trasformazioni nella modellazione e nella visualizzazione, accenni alla rappresentazione dei dati; accenni alle problematiche di integrazione della progettazione con la produzione (CAD/CAM).

**7. La rappresentazione e l'analisi funzionale e morfologica di elementi meccanici unificati, componenti, parti, assiemi, organi di macchine, macchine operatrici:** applicazione del disegno tecnico industriale per la rappresentazione e analisi funzionale e morfologica di elementi meccanici unificati, parti e assiemi, organi di macchine, macchine operatrici; elementi di collegamento (filettature, calettamenti, imbiettamenti, snap fitting, chiodature, saldature, incollaggi), assi ed alberi,

supporti, cuscinetti lisci e volventi, giunti ed innesti, organi di convogliamento, di intercettazione, di regolazione e di tenuta di fluidi; accenni alla rappresentazione grafica, sintetica e simbolica, dei principali componenti idraulici, pneumatici, elettrici ed elettronici; accenni alla rappresentazione di schemi e di disegni di layout di impianto.

**8. Elementi e tecniche per la rappresentazione e la comunicazione sintetica grafica di dati e funzioni:** elementi di statistica descrittiva, rappresentazione grafica di dati e funzioni, accenno alle tecniche per la rappresentazione aggregata di dati campionari; grafici, nomogrammi, istogrammi, diagrammi.

**9. Interpretazione ed elaborazione del disegno tecnico industriale:** interpretazione di schizzi, di disegni funzionali e costruttivi di parti e di complessivi, di semplici schemi e disegni layout di impianto, ricostruzione di parti tridimensionali; elaborazione di disegni mediante tecnica manuale e con il supporto dell'elaboratore.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni costituiscono parte integrante del corso: verranno infatti sviluppate le parti applicative del programma, quali le tecniche e le norme del disegno tecnico industriale, l'interpretazione e l'elaborazione di disegni di complessità progressiva con tecniche manuali e con l'ausilio di sistemi grafici interattivi computerizzati.

Per gli allievi di Ingegneria dei Materiali saranno curate, in particolare, esercitazioni dedicate al disegno costruttivo di componenti industriali e di oggetti realizzati con diversi tipi di materiali in funzione delle caratteristiche intrinseche degli stessi, delle relative tecnologie di trasformazione (per asportazione di materiale, per deformazione plastica, per cambiamento di stato, ecc.) e della risposta alle sollecitazioni meccaniche, alla corrosione, ecc., così da ottenere un reale collegamento tra materiale, oggetto e sue funzioni, tecnologie, disegno.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova grafica, che consenta la verifica della capacità di interpretazione e di elaborazione di un disegno tecnico, e nella verifica della conoscenza degli argomenti previsti nel programma dell'insegnamento.

#### *Libri consigliati*

G.F. Biggioggero, F. Giannattasio: *Disegno Industriale*, Ed. CittàStudi 1993, Milano.

G.F. Biggioggero, E. Rovida: *Disegno Industriale Organi di Macchine* (estratto da *Disegno di Macchine*), Ed. CittàStudi 1994, Milano.

G.F. Biggioggero, F. Giannattasio: *Esercizi di Disegno Industriale*, parte prima e parte seconda, Ed. CittàStudi 1992, Milano.

P. Davoli, A. Girotti, C. Luini, M.L. Veronesi: *Disegno - Metodi di rappresentazioni; disegno tecnico; Computer graphics e CAD*, CittàStudi 1991, Milano.

UNI MI: *Norme per il disegno tecnico*, Voi. I - *Norme generali*, Voi. II - *Norme specifiche per la meccanica e settori correlati*, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1995, Milano.

## DISPOSITIVI ELETTRONICI

### Prof. Antonio LONGONI

AG0098

#### *Programma d'esame*

- 1. Fisica dei materiali semiconduttori.** Reticoli cristallini: struttura a bande, dinamica dei portatori di carica, vibrazioni reticolari. Proprietà di Si, Ge, GaAs, composti III-V e II-VI. Eterogiunzioni e superreticoli. Fenomeni di trasporto ad alti campi.
- 2. Tecnologia dei dispositivi a semiconduttore.** Tecnologie del Si, Ge, GaAs, composti III-V e II-VI. Crescita del cristallo. Tecniche di crescita epitassiale. Processi planari. Processi micromeccanici. Tecnologie per l'integrazione a larghissima scala.
- 3. Simulazione numerica dei dispositivi a semiconduttore.** Simulazione del processo tecnologico di fabbricazione e simulazione fisica dei dispositivi. Tecniche agli elementi finiti basati su modelli 'drift-diffusion'. Fondamenti delle tecniche Monte Carlo.
- 4. Contatti metallo-semiconduttore.** Contatti rettificanti ed ohmici. Teoria della emissione termoionica e della diffusione. Effetto tunnel. Effetti degli stati superficiali. Confronti tra diodi metallo-semiconduttore e diodi PN. Misure C-V e caratterizzazione dei profili di drogatura.
- 5. Transistori unipolari ad effetto di campo: JFET, MOSFET, MESFET ed HEMT.** Struttura fisica, principi di funzionamento, caratteristiche elettriche, caratteristiche di rumore, comportamento alle alte frequenze e alle basse temperature di JFET (Junction Field Effect Transistor), MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET), MESFET (Metal Semiconductor FET) ed HEMT (High Electron Mobility Transistor, transistoro ad effetto di campo ad eterogiunzione). Inoltre:
  - Esempio di analisi, dimensionamento e disegno di un JFET mediante l'uso di simulatori numerici.
  - Distribuzione di carica nello strato di inversione di una giunzione MOS. Effetti delle cariche nell'ossido e all'interfaccia. Caratteristiche C-V. MOSFET a canale submicrometrico per circuiti integrati ULSI. Correnti sotto soglia. Effetti della saturazione della velocità di deriva. Danneggiamento da elettroni caldi. Controllo della tensione di soglia mediante impiantazione ionica. Tecniche di isolamento. Strutture a floating gate per memorie. Strutture CMOS. Latch-up.
  - Fenomeni quantistici e di trasporto in condizioni di non-equilibrio nel gas bidimensionale di elettroni negli HEMT. Tecniche per l'integrazione monolitica di circuiti per microonde (MMIC) basati su MESFET ed HEMT.
- 6. Transistori bipolari e rettificatori: BJT, HBT, SCR.** Struttura fisica, principi di funzionamento, caratteristiche elettriche, caratteristiche di rumore, comportamento alle alte frequenze di BJT (Bipolar Junction Transistor) e HBT (Heterostructure Bipolar Transistor). Inoltre: Condizioni di alta iniezione nei BJT. Fenomeni di breakdown. Transistori complementari NPN e PNP per circuiti integrati. Strutture avanzate: contatti autoallineati, contatto di emitter in silicio policristallino, isolamenti a trench. Transistori in silicio per microonde. Transistori bipolari ad eterogiunzione in SiGe ed in composti III-V. Struttura, principi di funzionamento, caratteristiche elettriche di SCR (Semiconductor Controlled Rectifier) e dispositivi di potenza collegati.
- 7. Sensori a semiconduttore.** Fondamenti di fisica dell'interazione radiazione-materia.
  - a) Fotorivelatori: Fotodiodi PIN. Processo di moltiplicazione per impatto e fotodiodi a valanga. Fattore di rumore in eccesso. Fotorivelatori per infrarosso in semiconduttori composti II-VI.
  - b) Sensori di immagine a CCD (Charge Coupled Devices). Struttura e principi di funzionamento. Sensibilità spettrale, efficienza di trasferimento, risoluzione spaziale, range dinamico e velocità di scansione.
  - c) Rivelatori di radiazione ionizzante (in particolare per radiazione X): Diodi in semiconduttori ad alta resistività, rivelatori di immagine a pixel, rivelatori spettroscopici a deriva.
  - d) Sensori magnetici: Dispositivi ad effetto Hall. Struttura e principi di funzionamento.

*Libri consigliati*

- D.A. Neamen: *Semiconductor Physics and Devices*. Irwin Press, 1992.  
 R. S. Muller, T.I. Kamins: *Device electronics for integrated circuits*. 2nd Edition. Wiley.  
 S. M. Sze: *High Speed Semiconductor devices*. Wiley, 1990.  
 R. Watts: *Submicron integrated circuits*. Wiley, 1989.  
 S. M. Sze: *Semiconductor sensors*. Wiley, 1994

**ECOLOGIA APPLICATA (A)****000878****Prof. Marino GATTO***Programma d'esame***Introduzione.**

Scopi e ambiti dell'ecologia e rapporti con le altre scienze. Importanza dell'approccio ecologico ai problemi dell'ambiente. Esempi di successi e fallimenti dell'intervento umano sul territorio.

Il concetto di ecosistema. Principi generali. Alcuni semplici esempi.

**Ecologia delle popolazioni.**

Metodi di misurazione e campionamento. Crescita malthusiana. Parametri di popolazione significativi e loro stima. Tabelle di natalità e mortalità. Tasso intrinseco di crescita. Distribuzione stabile d'età.

Fattori limitanti la crescita di una popolazione. Autoregolazione di una popolazione. Competizione intraspecifica. Crescita logistica. Altri modelli di crescita con dipendenza da densità.

Interazioni tra specie. Predazione. Equazione di Lotka-Volterra. Risposta funzionale del predatore. Competizione interspecifica. Modello di Volterra. Principio di esclusione competitiva. Nicchia ecologica. Spostamento di caratteri.

Lo sfruttamento degli ecosistemi produttivi. Dinamica di una popolazione sfruttata. Politiche di regolamentazione. Massimo rendimento biologico. Principi di economia delle risorse biologiche. Il caso della pesca e delle foreste.

**Comunità ed ecosistemi.**

Parametri di comunità. Metodi di raggruppamento e classificazione. Flussi di energia e biomassa negli ecosistemi. Misura della diversità di una comunità. Gradienti di diversità. Il caso delle isole. Cenni di climatologia e geografia fisica. L'influenza del clima e dei fattori fisici e chimici sulla distribuzione delle specie. Concetto di habitat.

Produzione primaria e secondaria. Catene alimentari, reti alimentari, livelli trofici. Efficienza ecologica. Cicli biogeochimici.

Sviluppo ed evoluzione degli ecosistemi. Concetti di successione e di climax.

Interferenze umane sui meccanismi di funzionamento degli ecosistemi.

*Libri consigliati*

M. Gatto: *Introduzione all'ecologia delle popolazioni*, CLUP, Milano, 1985.

*Appunti dalle lezioni.*

G. De Leo, M. Gatto: *Esercizi di ecologia applicata*, presso CittàStudi Fotocopie

*Libri per consultazione*

E. Pielou: *Mathematical Ecology*, J. Wiley, 1977.

P. Ehrlich, J. Roughgarden: *The Science of Ecology*. MacMillan, 1987

E. I. Newman: *Applied Ecology*, Blackwell, 1993

M. Begon, J.L. Harper, C.R. Towsend: *Ecology*, Blackwell, 1990.

**ECOLOGIA APPLICATA (B)**  
**Prof. Renato VISMARA****AW0008***Programma d'esame***1. Elementi di Biologia e Biochimica.**

Livello organizzativo del mondo vivente. Elementi di biochimica, metabolismo, catabolismo, anabolismo. Fotosintesi clorofilliana.

**2. Elementi di Microbiologia.**

Batteri. Alghe, funghi, virus. Equazioni di crescita di biomassa.

**3. Elementi di Ecologia.**

L'ecosistema. Flusso di energia. Produttività. Tempo di Turnover. Catene alimentari e livelli trofici. Piramidi ecologiche. Cicli biogeochimici. Fattori condizionanti la crescita e lo sviluppo. Legge di Liebig e di Shelford. Adattamento. Equazione di Monod. Legge di Weber. La resistenza ambientale. Caratteristiche delle comunità: dominanza ecologica e indici di struttura. Dinamica delle popolazioni. Natalità. Mortalità o distribuzione di età. Principio di Allee.

**4. Inquinamento e ambiente umano.**

L'inquinamento dell'acqua, dell'aria, del suolo, degli alimenti. Un approccio razionale al concetto di inquinamento. Definizione ed entità economica del danno ambientale. Strategie di controllo dell'inquinamento. Economia dell'inquinamento. Criteri e standards di qualità ambientali; studi epidemiologici, studi tossicologici. Mutagenesi, teratogenesi, cancerogenesi.

**5. Inquinamento e protezione ambientale.**

Aria: Criteri e indici di qualità. Effetti dell'inquinamento atmosferico. Effetti sul clima urbano. Effetti sul mesoclima. Acque Standards di qualità. Fenomeni di autodepurazione. Caratteristiche di pericolosità. Criteri di gestione e classificazione dei corpi idrici. *Igiene delle acque. Inquinamento delle acque sotterranee. Inquinamento dei laghi*: il fenomeno dell'eutrofizzazione; il recupero dei laghi. *Inquinamento del mare*. Protezione delle acque di balneazione. Criteri di gestione dell'inquinamento marino. *Inquinamento dei fiumi*. Inquinamento organico. *Suolo*: Inquinamento del suolo agrario e suoi effetti. Meccanismi di rimozione dei contaminanti nel suolo. Fitofarmaci. Fertilizzanti e prodotti di recupero: compost e fanghi. La classificazione dei rifiuti. La filosofia del riciclo.

**6. Elementi di Ecotossicologia.**

L'approccio ecotossicologico. Trasporto, dispersione e trasformazione dell'inquinante. Biodegradabilità. Tossicità. Previsione di tossicità di gruppi di molecole. Modello di fugacità per la previsione della distruzione compartimentale dei contaminanti. Metodi di valutazione dei rischi derivanti da sostanze pericolose e scale di pericolosità. Valutazione del rischio derivante dall'uso di nuovi prodotti.

**7. La Valutazione di Impatto Ambientale, Via.**

Campo di applicazione e criteri di attuazione. Lo studio di impatto ambientale, SIA. Indicatori e indici. Esempi di alcune metodologie. Obiettivi e contenuti minimi di SIA. Identificazione degli impatti. La scala di importanza degli impatti attraverso gli indicatori e indici. Elaborazione numerica tramite matrici.

**8. Teoria e Gestione dei Rischi.**

Concetto e percezione pubblica del rischio. La classificazione dei rischi. Gli incidenti rilevanti. Analisi dei rischi: l'albero degli eventi e dei guasti. Le mappe di rischio. I piani di emergenza.

**9. Ambienti di lavoro.**

I rischi nell'ambiente di lavoro. Le sostanze pericolose. La tossicità delle sostanze. Valori limiti di soglia (TLV, MAC) per sostanze chimiche e agenti fisici negli ambienti di lavoro. Definizioni di TLV. Percezione olfattiva, di disturbo e TLV.

### Esercitazioni

Sono previste esercitazioni di calcolo in applicazione agli argomenti svolti durante il corso, nonché seminari di operatori esterni al Politecnico su temi specifici. Le esercitazioni fanno parte integrante del programma di esame.

### Libri consigliati

R. Vismara: *Ecologia Applicata*, Hoepli, 1992.

Dispense e materiale bibliografico distribuito durante il corso.

## ECONOMETRIA Prof. Rocco MOSCONI

**AQ0114**

### Programma d'esame

#### 1. Introduzione.

L'econometria e le sue relazioni con la teoria economica. Modelli economici, modelli statistici, modelli econometrici. Finalità dei modelli: validazione e confronto di teorie economiche, previsione, simulazione di politiche economiche.

#### 2. Richiami di statistica e algebra lineare.

Teoria della stima: stimatore e stima, stima puntuale e per intervalli, proprietà degli stimatori, l'approccio di massima verosimiglianza. Teoria dei test: definizione di test, errore di prima e seconda specie, potenza di un test, confronto fra test. Richiami di algebra lineare.

#### 3.1 principali modelli impiegati in econometria.

La natura multivariata dei problemi economici: modelli uniequazionali e multiequazionali. Modelli *Time-series*, *cross-section*, *panel*. Modelli per variabile dipendente continua, discreta, limitata, troncata, censurata. Modelli lineari e non lineari. Modelli con variabili non osservabili o misurate con errore.

#### 4. Il modello di regressione lineare uniequazionale.

Le ipotesi standard del modello. Il metodo dei minimi quadrati ordinari e il metodo della massima verosimiglianza. Proprietà degli stimatori sotto le ipotesi standard. Valutazione della bontà della regressione. Il problema della collinearità, uso delle variabili *dummy*. Test sui vincoli lineari. Correlazione seriale: test e tecniche di stima alternative. Eteroschedasticità: test e tecniche di stima alternative. I minimi quadrati generalizzati.

#### 5. Un ripensamento dell'analisi uniequazionale: la nuova econometria dinamica.

Analisi delle serie storiche e nuova econometria dinamica. Analisi univariata delle serie storiche. Analisi multivariata delle serie storiche. L'approccio della London School of Economics: la logica dal generale al particolare e la fase di controllo diagnostico. L'econometria teorica americana secondo Sims e Sargent. Verso una unificazione degli approcci. Cenni di teoria della cointegrazione.

#### 6. Il modello di regressione lineare multiequazionale.

Forma strutturale e forma ridotta. Il problema dell'identificazione. Diverse tecniche di stima per sistemi di equazioni simultanee e loro proprietà: OLS, 2SLS, 3SLS, Zellner, LIML, FIML, IV. I sistemi di equazioni simultanee e la nuova econometria dinamica.

#### 7. Parte monografica.

Ogni anno viene svolta dal docente una parte monografica scelta, a titolo esemplificativo, tra i seguenti argomenti:

- Modelli panel
- Modelli non lineari

- Modelli probit e logit
- Analisi di serie storiche con stagionalità
- Modelli per dati di durata
- Modelli a parametri variabili
- Econometria per le serie storiche di tipo finanziario
- Modelli per la previsione delle vendite

Lo studente può scegliere di preparare l'argomento svolto nell'anno corrente, uno di quelli svolti in uno degli anni precedenti oppure un argomento concordato con il docente.

#### *Testi consigliati*

Verranno indicati dal docente a lezione.

#### *Esercitazioni*

Nell'ambito del corso si prevedono esercitazioni volte all'illustrazione di software per l'analisi econometrica. L'analisi empirica di un problema economico mediante tecniche econometriche costituirà parte integrante dell'esame.

#### *Testi di riferimento*

G.S. Maddala: *Introduction to Econometrics* - second edition, MacMillan.

W.H. Greene: *Econometric Analysis*, MacMillan.

## **ECONOMIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA (A)**

**AQ0110**

(per gli allievi di Ingegneria per l'Ambiente e per il Territorio e Ingegneria dei Materiale)

**Prof. Eliot LANIADO**

#### *Programma d'esame*

- 1. Macroeconomia.**
- 2. Microeconomia.**
- 3. Economia ambientale.**
- 4. Contabilità aziendale.**

#### **1. Macroeconomia.**

Contabilità nazionale. Domanda aggregata, offerta aggregata, reddito d'equilibrio. Moneta, interesse e reddito. Il modello IS-LM, le politiche monetaria e fiscale. Le relazioni economiche internazionali. Salari, inflazione, occupazione e disoccupazione.

#### **2. Microeconomia.**

Teoria dell'utilità e della domanda. Teoria della produzione. Teoria dei costi. Teoria dei mercati: concorrenza perfetta, monopolio, concorrenza monopolistica, oligopolio. Elementi di teoria dei giochi. Equilibrio generale e teoria del benessere.

#### **3. Economia ambientale.**

Esternalità e indivisibilità nel consumo. Risorsa ad accesso libero. Beni club e beni pubblici. Teorema di Coase. Gli strumenti di regolamentazione: tasse, standard ambientali, creazione di un mercato. Cenni di analisi costi-benefici. Valutazione d'impatto ambientale.

**4. La contabilità ambientale dell'azienda.**

Il bilancio: lo stato patrimoniale ed il conto economico; l'analisi interpretativa del bilancio. Il bilancio ambientale: life cycle analysis, ecolabeling, ecoaudit. Sistemi di rilevazione, e sistema di supporto alle decisioni

**ECONOMIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA (A)****AQ0110**

(per gli allievi di Ingegneria Civile)

**Prof. Sergio MARIOTTI***Programma d'esame***I: Microeconomia.**

La teoria della domanda. L'impresa e la teoria della produzione. La teoria dei costi. Le forme di mercato (concorrenza perfetta, monopolio, concorrenza monopolistica, oligopolio).

**II: Macroeconomia.**

Contabilità nazionale. Domanda aggregata e reddito d'equilibrio. Moneta, interesse e reddito. Il modello IS-LM, le politiche monetaria e fiscale. Salari, inflazione ed occupazione.

**III: Elementi di economia del territorio.**

Teoria della localizzazione industriale. Principi e metodi d'economia urbana e regionale. Elementi di economia ambientale.

**IV: Metodi della teoria delle decisioni.**

Analisi costi-benefici. Analisi costi-efficacia. Cenni all'analisi a molti obiettivi. Valutazione di impatto ambientale.

**V: La gestione dei progetti.**

I principi di base del project management. La pianificazione e il controllo dei progetti. Strumenti operativi: diagrammi di Gantt e la programmazione reticolare.

*Libri consigliati*

A. Koutsoyiannis: *Microeconomia*, Etas Libri, Milano.

R. Dornbusch, S. Fischer: *Macroeconomia*, Il Mulino, Bologna, 4<sup>a</sup> edizione.

Per le parti 3, 4, e 5 sono disponibili testi predisposti dal docente.

**ECONOMIA DEI SISTEMI INDUSTRIALI****AQ0101****Proff. Luigi BUZZACCHI, Sergio MARIOTTI***Programma d'esame*

**1. L'organizzazione del sistema industriale** - appunti tratti dalle lezioni

**2. L'impresa e i suoi obiettivi** - appunti tratti dalle lezioni

**3. La struttura dei costi** - appunti tratti dalle lezioni M.G. Colombo, S. Mariotti: *Note economiche sull'automazione flessibile*, Economia e Politica Industriale, n. 48, 1985.

**4. Concorrenza e struttura dei mercati** - appunti tratti dalle lezioni D. Needham: *The economics of industrial structure conduct and performance*, Holt Rinehart and Winston, 1978, pp. 159-162.

M. Grillo, F. Silva: *Impresa concorrenza e organizzazione*, 1989, La nuova Italia Scientifica, pp. 207 - 215, pp. 216 - 219, pp. 229 - 238.

M. Porter: *Competitive Strategy*, The Free Press, 1980, capp. 1 e 2.

- 5. L'integrazione verticale** - appunti tratti dalle lezioni
- 6. La diversificazione** - appunti tratti dalle lezioni G.C. Cainarca, S. Mariotti: *I sentieri delle diversificazioni orientate. Un'analisi empirica dei comportamenti delle grandi imprese statunitensi*, Economia e Politica Industriale.
- 7. L'internazionalizzazione delle imprese** - appunti tratti dalle lezioni.
- 8. Gli accordi tra le imprese** - appunti tratti dalle lezioni
- 9. I gruppi industriali** F. Brioschi, L. Buzzacchi, M.G. Colombo: *Gruppi di imprese e mercato finanziario - La struttura di potere dell'industria italiana*, La Nuova Italia Scientifica, 1990, capp. 1 e 2.1 - 2.7 (per una buona comprensione dell'argomento, si consiglia la consultazione degli altri capitoli, ed in particolare dei capp. 5 e 6).  
F. Brioschi, S. Paleari: *The Extension of the Notion of External Equity Financing to Sets of Firms: Business Groups and Firms Listed in a Given Stock Market*, presented to the European Finance Association Meeting, Copenhagen, 1993.
- 10. Fusioni e acquisizioni** - appunti tratti dalle lezioni
- 11. Struttura industriale ricerca sviluppo e innovazione tecnologica** - appunti tratti dalle lezioni  
F. Momigliano: note *Determinanti ed effetti della ricerca e sviluppo in un'industria ad alta opportunità tecnologica: un'indagine econometrica*, L'Industria, n. 1, 1983, pp. 61-89.
- 12. Politica industriale** - disegno di legge "Norme a tutela della concorrenza di mercato".  
M. Salvati: *Politiche antiinflazionistiche e politiche industriali. Considerazioni tratte da alcune esperienze europee*. L'industria, 1, 1982.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale.

*Libri consigliati*

M. Grillo, F. Silva: *Impresa Concorrenza e Organizzazione Industriale*, La Nuova Italia Scientifica, 1989.

**ECONOMIA DEL CAMBIAMENTO TECNOLOGICO****000874****Prof. Massimo COLOMBO***Programma d'esame*

1. Progresso tecnico e innovazione nell'analisi economica: concetti di base e richiami di teorie (il cambiamento tecnologico nella teoria neoclassica della produzione, nella teoria della crescita, nell'economia classica, marxiana e di Schumpeter).
2. Indicatori e misure dell'attività innovativa, i divari tecnologici internazionali (tra le grandi aree industrializzate - Europa, Giappone, Stati Uniti - e all'interno dell'Europa; la posizione dell'Italia).
3. Modelli interpretativi delle determinanti e degli effetti dell'attività innovativa delle imprese (trattamento della domanda o della tecnologia; relazioni tra variabili di mercato e di impresa ed attività innovativa).
4. Moderne teorie economiche dell'innovazione: opportunità e traiettorie tecnologiche, paradigmi tecnologici e teoria evolutiva dell'impresa; relazioni tra fasi di evoluzione di una traiettoria tecnologica e strutture delle industrie e dei mercati.
5. Appropriabilità e acquisizione dall'esterno delle tecnologie, strategie di innovazione tecnologica e di cooperazione tra le imprese.
6. Strumenti legali di tutela delle innovazioni tecnologiche e strumenti negoziali di cooperazione tra le imprese nello sviluppo e nello sfruttamento di tecnologie.

7. La diffusione delle innovazioni tecnologiche. I modelli di diffusione (modello epidemico e modello probit); i nuovi modelli interpretativi dei processi di diffusione delle innovazioni; interazione tra domanda e offerta di innovazioni (learning by doing e by using, modello di Metcalfe); il caso dell'automazione flessibile.

8. Le politiche pubbliche per la ricerca, l'innovazione ed il trasferimento tecnologico. Le esperienze nei grandi paesi industriali avanzati (politiche "mission oriented" e politiche "diffusion oriented"). L'esperienza italiana (leggi per l'innovazione e la sua diffusione: fondo IMI-RA, fondo Innovazione tecnologica, ecc.).

## **ECONOMIA ED ESTIMO CIVILE** **Prof. Angelo CARUSO DI SPACCAFORNO**

AJ0112

### *Programma d'esame*

Il corso si propone di fornire gli strumenti necessari per la valutazione economico-estimativa dei beni territoriali con riferimento alla loro produzione e utilizzazione.

Esso si articola nelle seguenti tre aree tematiche:

- Elementi di metodologia e pratica estimativa in ambito civile, industriale e territoriale.
- Elementi di scienza e tecnica economica finalizzati alla formazione e trasformazione urbana e territoriale.
- Elementi di Esercizio Professionale dell'Ingegnere Edile con riferimenti all'integrazione europea.

In prima analisi l'insegnamento intende approfondire le problematiche economiche concernenti la formazione del mercato edilizio ed illustrare gli elementi pertinenti alle diverse fasi del processo edilizio.

Quindi l'insegnamento, dopo l'esposizione articolata degli elementi logici, teorici e metodologici della metodologia estimativa, si propone l'approfondimento delle azioni economiche connesse alla formazione e alla trasformazione della città e del territorio, rivolgendo particolare attenzione alla valutazione e all'ottimizzazione delle scelte tecniche nell'ambito della concezione, programmazione e valorizzazione del patrimonio architettonico-ambientale.

Richiami all'esercizio professionale dell'ingegnere edile, anche sotto l'aspetto dell'integrazione europea, accompagnano l'analisi dei diversi campi operativi della disciplina.

### **1) Elementi di metodologica e pratica estimativa in ambito civile, industriale e territoriale.**

Definizioni e funzioni della metodologica estimativa, fonti giuridiche, economiche e tecniche dell'Estimo. Evoluzione della dottrina e della pratica estimativa. Lineamenti di logica estimativa e principio dell'Estimo. Criteri e procedimenti dell'Estimo. Nozioni di Matematica Finanziaria e di Statistica. Stime crono-merceologiche e stime funzionali dei costi di costruzione. Valutazioni dei costi nel ciclo di vita. Stima del valore di mercato attraverso i procedimenti della capitalizzazione dei redditi, del valore di trasformazione e del valore di riproduzione. Lineamenti di estimo industriale e tecniche di analisi finanziaria degli investimenti. Specifiche problematiche estimative riguardanti l'utilizzo pubblico e privato del territorio.

### **2) Elementi di scienza e tecnica economica finalizzati alla formazione e alla trasformazione urbana e territoriale.**

Definizioni e funzioni della scienza economica. Richiami di storia del pensiero economico in relazione all'evoluzione delle scienze del territorio. Riferimenti macroeconomici per il comparto edilizio. Lineamenti di microeconomia con particolare riferimento all'equazione dell'impresa. Problematiche dell'economia edilizia in relazione all'ottimizzazione delle scelte tecniche. Metodi con-

venzionali di valutazione dei costi e della qualità nei processi di intervento edilizio. La concezione economica di significative opere dell'architettura moderna in rapporto alle differenti metodologie progettuali. Problematiche dell'economia urbana e territoriale con riferimento all'ottimizzazione delle scelte di intervento. Tecniche di analisi costi/benefici e tecniche di analisi multicriteriale. Valutazione e strategie di conservazione dei beni culturali immobiliari.

3) Elementi di Esercizio Professionale dell'Ingegnere Edile con riferimento all'integrazione europea.

Analisi strutturale e funzionale del mercato edilizio. Ruoli e responsabilità dei diversi attori del processo edilizio. La promozione della qualità in ambito comunitario. Tipi e modi di appalto dei lavori pubblici in ambito europeo. La revisione prezzi, alla liquidazione dei lavori e il collaudo dei lavori. Principi e basi della perequazione fondiaria in relazione all'ordinamento fiscale sulla casa. Stime di espropriazione per pubblica utilità, danni e diritti reali. La consulenza tecnica d'ufficio e l'arbitrato. Profilo e competenze professionali dell'Ingegnere Edile in relazione all'integrazione europea.

#### *Esercitazioni*

Valutazioni dei costi di intervento. Perizie di stima. Studi di fattibilità tecnico-economica. Specifiche analisi economiche di progetti edilizi ed urbanistici nei diversi livelli di elaborazione.

#### *Modalità d'esame*

Per l'ammissione all'esame è necessaria la consegna preventiva degli elaborati relativi alle esercitazioni. L'esame consiste in una prova orale sul programma e sui risultati conseguiti nei lavori di esercitazione.

#### *Libri consigliati*

V. Columbo - *Estimo: La Logica, la teorica*, Giuffrè - Milano, 1962/82.

L. Fabbri - *Estimo civile e urbano*, Medicea - Firenze, 1983.

A. Caruso - *Giudizi di valore nell'esercizio professionale dell'architetto e dell'ingegnere edile*, CittàStudi - Milano, 1993.

A. Poletti, C. Tenconi - *Note applicate di estimo territoriale ed urbano*, CULS - Milano, 1987.

Su specifici argomenti potranno essere forniti dal docente appunti nel corso delle lezioni.

Per un approfondimento della materia si consigliano inoltre:

M. Grillenzoni, G. Grittani - *Estimo: Teoria, procedure di valutazione e casi applicativi*, Edagricole - Bologna, 1990.

A. Caruso - *Evoluzione della dottrina e della pratica estimativa nella cultura e nella scuola politecnica piemontese a partire dalla seconda metà del XVIII secolo sino ai primi decenni del XX secolo*. Quaderno n. 13. Dipartimento di Ingegneria dei Sistemi Edilizi e Territoriali. Politecnico di Torino, Torino, 1991.

G. Dandri - *Elementi di economia della progettazione edilizia*, EdilStampa - Roma, 1989.

F. Rizzo - *Economia del patrimonio architettonico ambientale*, F. Angeli - Milano, 1989.

L. Fusco Girard - *Estimo ed Economia Ambientale: Le nuove frontiere nel campo della valutazione*, F. Angeli - Milano, 1993.

C. Mathurin - *Appalti e responsabilità nel settore delle costruzioni in Europa* - Comunità Economica Europea - Università di Siena, 1989.

C. Tenconi - *Note introduttive sull'appalto dei lavori e sul Catasto*, CUSL - Milano, 1993.

**ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (B)****AQ0003****Proff. Vittorio CHIESA, Stefano PREDÀ, Claudio ROVEDA, Guido VANNUCCHI***Programma d'esame***PARTE I****IMPRESA: definizione, finalità, obiettivi economici, tipologie, imprenditorialità, innovazione, ambiente.**

Gli istituti, le persone, l'attività economica, l'economia aziendale. L'assetto istituzionale: soggetto e fini dell'azienda. Le combinazioni economiche: gli accadimenti, le operazioni, i processi, le combinazioni economiche. L'ambiente: le relazioni fra aziende. I principali obiettivi delle imprese. Attività nell'impresa. Le principali tipologie di impresa e la loro presenza nell'economia italiana e internazionale: strutture giuridiche, imprese private e pubbliche, imprese nazionali e multinazionali, gruppi di imprese.

**PARTE II****ECONOMICITÀ D'IMPRESA E STRUMENTI DI ANALISI PER LE DECISIONI: valore Economico, rilevazioni contabili, bilancio, analisi di bilancio, contabilità analitica, rilevazione dei costi, decisioni di breve termine, valutazione degli investimenti.**

II.1 Il valore economico La nozione di valore economico come obiettivo di fondo delle imprese. Il principio di attualizzazione. Valore economico e valore di mercato. I rapporti M/B e p/e. Il valore economico e la flessibilità. La definizione del rischio di impresa.

11.2 La contabilità esterna

Le rilevazioni di esercizio. Le rilevazioni di fine esercizio. La logica delle valutazioni e delle rivalutazioni. Le determinazioni di sintesi: il bilancio di esercizio, il bilancio riclassificato, il rendiconto finanziario, i flussi di capitale circolante e di cassa. L'interpretazione del bilancio di esercizio: gli indici di bilancio.

11.3 La contabilità analitica e direzionale

Costi di prodotto e costi di periodo. La classificazione dei costi. Gli oggetti rispetto ai quali si classificano i costi. I sistemi di rilevazione dei costi (job costing, process costing, standard costing, activity based costing).

II.4 L'analisi delle decisioni di breve periodo

La variabilità dei costi. L'analisi di break-even. La leva operativa. Il concetto di costo evitabile. L'uso degli indicatori non finanziari (produttività, servizio, qualità, tempo). La determinazione dei prezzi di vendita.

II.5 La scelta degli investimenti

Aspetti strategici e analisi finanziarie nella valutazione degli investimenti. Le modalità di stima dei flussi di cassa rilevanti. Le tecniche classiche per la valutazione degli investimenti: tempo di payback, ROI, NPV, IRR, PI. I metodi non convenzionali. Gli investimenti in tecnologie innovative. Gli investimenti in capitale circolante. La valutazione dei finanziamenti.

**PARTE III****AMBIENTE, MERCATO, STRATEGIA: relazioni con l'ambiente, forma di mercato, strategia competitiva, governo strategico, la formula imprenditoriale, il vantaggio competitivo, la crescita dell'impresa.**III.1 Le forme di mercato e i principali attori

Le principali tipologie di mercato. Le teorie moderne dell'oligopolio. Le determinanti delle forme di mercato. Le economie di scala e di scopo. Le economie di integrazione verticale. Le economie di apprendimento. Le barriere all'entrata statiche e dinamiche. Il ruolo dei clienti e dei fornitori. I prodotti sostitutivi. Le determinanti della struttura di settore, il comportamento competitivo di settore, le performances di settore.

III. 2 Le strategie di impresa

Il concetto di strategia di impresa. I processi di governo strategico. Le strategie e le formule imprenditoriali di successo. Le modalità di crescita delle imprese: espansione, integrazione, diversificazione, internazionalizzazione, crescita tramite alleanze e accordi. Il ruolo strategico delle nuove tecnologie e, in generale, dell'innovazione. Le scelte di portafoglio. Il concetto di vantaggio competitivo sostenibile. La value chain. Le strategie "tipo": leadership di costo, differenziazione, focalizzazione. Le nuove modalità competitive (time based competition, variety based competition).

**PARTE IV**

**ORGANIZZAZIONE E SISTEMI DI GESTIONE: gli elementi costitutivi, l'organizzazione del lavoro, i meccanismi di coordinamento, i sistemi di pianificazione e di controllo, le relazioni con l'ambiente, i processi decisionali e i sistemi di gestione.**

IV.1 L'organizzazione di impresa e la sua specificità

Il problema dell'organizzazione: divisione, articolazione e coordinamento del lavoro. La specificità come contemporaneità di definizione dei rapporti tra persone, dei modi di usare le tecnologie, delle conoscenze e capacità necessarie.

IV.2 Gli elementi dell'organizzazione

Gli elementi dell'organizzazione: strutture, meccanismi e persone. Le strutture come modalità di aggregazione. I meccanismi come regole di integrazione. Le 5 parti (nucleo operativo, vertice strategico, linea intermedia, tecnostruttura, staff di supporto). Le variabili o leve di progettazione (le posizioni individuali, le macrostrutture, il sistema decisionale, i collegamenti laterali). I fattori contingenti (dimensione, ambienti, tecnologie e potere).

IV.3 L'organizzazione e l'ambiente esterno

Il modello socio-tecnico. Il modello delle transazioni sociali. Una semplice tipologia delle organizzazioni.

IV.4 I processi decisionali e i sistemi di gestione

I processi decisionali. La rilettura delle principali decisioni di impresa in termini di processo decisionale. La gestione per obiettivi. La gestione per progetti.

IV.5 La pianificazione e il controllo di gestione*Libri consigliati*

Verranno indicati dal docente a lezione

*Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni numeriche relative agli argomenti inclusi nelle prime due parti del programma.

**ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (B)****AQ0003**

(per allievi del Corso di Laurea in Ingegneria Edile)

**Prof. Adriano PROPERSI***Programma d'esame***Nozioni propedeutiche.**

L'impresa nel sistema ambiente-mercato - - Il ruolo dell'impresa di produzione - I rapporti Stato-impresе - Le relazioni azienda-ambiente - L'impresa e il mercato - I vincoli operativi dell'impresa - La funzione economico-sociale dell'impresa - La classificazione delle imprese.

**Parte I: L'attività economica aziendale.**

La nozione di rischio aziendale - Aspetti economici e finanziari della gestione - I finanziamenti e gli investimenti - Forme di finanziamento - Autosufficienza economica e finanziaria - Produzione d'impresa e remunerazione dei fattori produttivi - Produttività delle combinazioni dei fattori produttivi - La gestione aziendale nel mutato contesto istituzionale - Il valore economico delle imprese.

**Parte II: La direzione dell'impresa.**

L'organizzazione dell'azienda - Gli organi di governo dell'impresa - La pianificazione di impresa - La programmazione della gestione - Programmazione e controllo degli investimenti e dei mezzi finanziari - I budgets settoriali e quello integrale - La conduzione del personale - Il controllo direzionale.

**Parte III: La gestione dell'impresa industriale.**

La gestione strategica dell'impresa: i modelli di sviluppo dimensionale - La gestione commerciale - La gestione della produzione - La gestione finanziaria - Le altre aree della gestione aziendale - Tecniche di programmazione aziendale - Tecniche di controllo di gestione.

**Parte IV: L'informazione nell'impresa.**

La progettazione del sistema informativo - Il sistema informativo direzionale, la contabilità generale e quella industriale - La misurazione del patrimonio aziendale - Il bilancio d'esercizio: formazione e interpretazione - Introduzione allo studio e alla determinazione dei costi - Le tipologie dei costi di produzione - I rendimenti e gli indici di efficienza.

**Parte V: La gestione delle imprese edili.**

I caratteri peculiari della gestione nelle imprese di costruzione - Le scelte delle imprese edili: le premesse delle scelte e la formulazione delle stesse - Gli strumenti per l'attuazione ed il controllo delle scelte aziendali - Il bilancio delle imprese edili - La partecipazione di più imprese all'attuazione di commesse rilevanti - I consorzi ed i raggruppamenti temporanei di impresa - Il contratto di compravendita immobiliare - Il contratto d'appalto: aspetti giuridici e operativi - Il contratto di "engineering": aspetti giuridici e amministrativi - Il project-financing: tecniche di gestione e casistica applicativa - Gli aspetti fiscali nelle imprese edili (cenni) - Il controllo di gestione dei lavori su commessa - Il controllo di gestione dei lavori "in proprio". - I budget finanziari nelle imprese edili.

*Libri consigliati*

G. Belardi: *Economia e gestione dell'impresa*, UTET, 1994

A. Propersi: *Le imprese edili*, Pirola, ed. 1992

A. Propersi: *Le scritture contabili e il bilancio d'esercizio*, ETAS LIBRI, 1993

A. Propersi: *Il controllo di gestione delle imprese edilizie*, Ed. Giuffrè 1983

S. Sciarelli: *Il sistema d'impresa*, Ed. CEDAM, 1994

*Eserciziari:*

M. Calderini - E. Paolucci: *Economia e organizzazione aziendale*, UTET, 1994.

G. Azzone: *Economia ed organizzazione aziendale - esercizi*, CLUP 1990.

**ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE (C)**  
**Prof. Umberto BERTELE'**

**AQ0004**

*Programma d'esame*

**PARTE I: LA CONTABILITA' DI IMPRESA.**

**Il bilancio.**

Lo stato patrimoniale. Il conto economico. Lo schema di cash flow. Il principio di competenza economica. Il metodo della partita doppia. La riclassificazione dei bilanci. I principali indici di bilancio. La leva finanziaria. La leva generalizzata.

**La contabilità interna.**

I costi di prodotto. La contabilità a costi storici: job costing, process costing, operation costing. La contabilità a costi standard. L'analisi di break even. La leva operativa. Il budget. Il budget flessibile. I costi di periodo. Le spese discrezionali. Lo zero based budget. L'Activity Based Costing. I costi evitabili.

**PARTE II: LE DECISIONI DI IMPRESA.**

**Il valore economico come obiettivo delle imprese.**

Gli obiettivi delle imprese. La nozione di valore economico. Il principio di attuazione. Le value curve. I rapporti M/B e P/E. Valore economico e flessibilità.

**La scelta degli investimenti.**

Valore di impresa e valore degli investimenti. Il calcolo dei flussi di cassa. Le tecniche per la valutazione degli investimenti: tempo di pay back, ROI, NPV, IRR, PI. I metodi in condizione di rischio: equivalente certo, RAR. Le scelte di portafoglio.

**Le scelte strategiche di impresa.**

Le tipologie di decisione strategica. Lo spazio decisionale. I modelli di portafoglio: la matrice BCG. Le forze che regolano la competizione in un settore: il modello di Porter. I gruppi strategici. Il vantaggio competitivo: la value chain. Le strategie "tipo": leadership di costo, differenziazione, focalizzazione.

**PARTE III: LE STRUTTURE ORGANIZZATIVE.**

**Le strutture organizzative.**

La progettazione delle posizioni individuali. La progettazione della macrostruttura. I collegamenti laterali. Il decentramento. I fattori contingenti. Le configurazioni organizzative.

*Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni numeriche sulle parti I e II del programma.

*Libri consigliati*

G. Azzone: *Economia ed organizzazione aziendale - esercizi*, CLUP, 1990.

G. Azzone: *Innovare il sistema di controllo di gestione*, ETAS Libri, Milano, cap. 3,4,11.

A.C. Hax, N.S. Majluf: *The strategy concept and process*, Prentice Hall, 1991, cap. 3-6, 8-12, 15.

U. Bertelè, S. Mariotti (a cura di): *Impresa e competizione dinamica*, Etas Libri, Milano, 1991, cap.1.

H. Mintzberg: *La progettazione dell'organizzazione aziendale*, Il Mulino, 1985, cap. 1-12.

C.S. Park, G.P. Sharp-Bette: *Advanced engineering economics*, Wiley, 1990, cap. 1-2, 5-7, 9, 11.

**ECONOMIA POLITICA (ECONOMIA INTERNAZIONALE)**

**AQ0117**

**Prof. Fabio SDOGATI**

*Programma d'esame*

**1. Teoria del commercio internazionale.**

- 1.1 La teoria dei vantaggi comparati
- 1.2 Il modello di Heckscher-Ohlin
- 1.3 Mutamenti nella tecnologia e nella dotazione dei fattori produttivi
- 1.4 Le economie di scala ed il commercio internazionale
- 1.5 La mobilità internazionale dei fattori produttivi

**2. Le politiche commerciali internazionali.**

- 2.1 Gli strumenti delle politiche commerciali: tariffe, dazi, contingentamenti
- 2.2 Gli effetti delle politiche commerciali
- 2.3 Le politiche industriali dei paesi avanzati

**3. Tassi di cambio e analisi macroeconomica dei sistemi economici aperti.**

- 3.1 Contabilità nazionale e bilancia dei pagamenti
- 3.2 Tassi di cambio e mercati valutari
- 3.3 Tassi d'interesse e tassi di cambio
- 3.4 Livello dei prezzi e tasso di cambio nel lungo periodo
- 3.5 Produzione e tasso di cambio nel breve periodo
- 3.6 Controllo dei cambi ed interventi sul mercato valutario

**4. Politiche macroeconomiche internazionali.**

- 4.1 Dal *gold standard* a *Bretton Woods*
- 4.2 Politiche economiche e coordinamento in regime di cambi flessibili
- 4.3 Stato e prospettive del Sistema Monetario Europeo
- 4.4 Il mercato mondiale dei capitali

*Libri consigliati*

- P.R. Krugman e M. Obstfeld: *Economia Internazionale*, Hoepli, Milano 1991.  
R.S. Masera e S. Rossi: *La bilancia dei pagamenti*, Cedam, Padova 1993.

**ELABORAZIONE DELL'IMMAGINE PER LA PROGETTAZIONE INDUSTRIALE AR0125**

**Prof. Eugenio CASTELLI**

*Programma d'esame*

**Generalità;** Le immagini sono uno dei maggiori veicoli di informazioni. I moderni calcolatori hanno reso accessibile la loro lettura e quindi il digital image processing é divenuto una delle discipline scientifiche di maggiori prospettive.

Gli orientamenti fondamentali di ricerca sono: visione per i robot, pattern recognition.

Le immagini di interesse tecnico-scientifico si dividono in immagini riprese, normalmente immagini fotografiche o da telecamera, ed immagini generate dal computer, generalmente da programmi CAD (vettoriali).

### **IMMAGINI RIPRESE**

#### **1) Tecniche di ripresa**

- 1.1 Generalità sui dispositivi di ripresa
- 1.2 Conversione in formati trattabili matematicamente

#### **2) Tecniche matematiche di elaborazione dell'immagine.**

- 2.1 Algoritmi di normalizzazione
- 2.2 Algoritmi per l'estrazione di informazioni
- 2.3 Algoritmi di analisi
- 2.4 Algoritmi di interpretazione

#### **3) Telemisurazione e preparazione alla visione robotica**

- 3.1 Telemisurazione con correzione prospettica
- 3.2 Telemisurazione di movimenti
- 3.3 Valutazione probabilistica degli spigoli; preparazione mappe
- 3.4 Relazioni geometrico-morfologiche tra spigoli, vertici, facce.

#### **4) Pattern recognition**

#### **5) Misure scientifiche interessanti per la progettazione industriale:**

- 5.1 -quantitative: analisi delle sollecitazioni: rilievo computerizzato delle sollecitazioni con metodi fotoelastico ed olografico
- 5.2 -telemisurazioni: misura dello spostamento di nodi e confronto con previsioni FEM; ergonomia: posti di lavoro: rilievo ed evidenziazione dei movimenti degli addetti ed utenti delle macchine
- 5.3 -pattern recognition: misurazioni metallurgiche e chimiche

### **IMMAGINI CAD**

#### **1) Ripasso concetti CAD**

#### **2) CAD tridimensionale: modellazione**

- 2.1 Logiche

#### **3) Supporto e collegamento alla visione robotica**

- 3.1 Constraints e relazioni funzionali
- 3.2 Interpretazione e riordino dei rilievi

#### **4) Supporto offerto in fase progettuale dalla interattività visiva**

- 4.1 Verifica curve e superfici; semplificazioni, riduzione nodi
- 4.2 Parametrizzazione associata

#### *Libri consigliati*

Dispense del corso

Zamperoni: *Metodi dell'elaborazione digitale d'immagini*, Masson 1990

Fu, Gonzalez, Lee: *Robotica* McGraw Hill 1989

Ballard-Brown: *Computer vision*, Prentice Hall, 1982

Shalkoff: *Digital Image Processing and Computer Vision*, J. Wiley & Sons, 1989.

### **ELABORAZIONE DI DATI E SEGNALI BIOMEDICI**

**AA0017**

**Prof. Sergio CERUTTI**

#### *Programma d'esame*

- Introduzione ai problemi di elaborazione dei segnali biologici. Proprietà dei processi di origine biologica. Schema a blocchi generale delle operazioni coinvolte nell'elaborazione dei segnali bio-

logici: acquisizione, pre-elaborazione, stima e classificazione. Studio delle metodologie e cenni sulle tecnologie interessate.

- Nomenclatura e definizioni generali nell'ambito dei segnali e sistemi a tempo continuo e a tempo discreto. Richiami sulle metodologie di analisi dei segnali e sistemi a tempo discreto. Analisi spettrale di tipo non parametrico.

- Filtri numerici. Definizioni generali e classificazione. Tecniche di implementazione.

- Segnali e sistemi biologici:

**Sistema cardiovascolare:** analisi del segnale elettrocardiografico (ECG), del segnale di pressione, di flusso, ecc. e loro reciproche interazioni. Elettromappe. Meccanismi di generazione, acquisizione, pre-elaborazione, stima e classificazione. Rassegna sui metodi di elaborazione di tipo tradizionale e principali applicazioni cliniche e di ricerca. Segnali di variabilità sul breve e lungo termine. Aspetti fisiopatologici: studio dei meccanismi neurali di controllo (in particolare relativi alla frequenza cardiaca e pressione), aritmie, ecc. Metodi e tecniche di elaborazione per il monitoraggio cardiologico. Il segnale ECG fetale: metodi di elaborazione ed estrazione di parametri.

**Sistema neurosensoriale:** analisi del segnale elettroencefalografico (EEG) e dei potenziali evocati (PE). Meccanismi di generazione, acquisizione, pre-elaborazione, stima e classificazione. Rassegna sui metodi di elaborazione di tipo tradizionale e principali applicazioni cliniche e di ricerca: attività basale ed attività evocata. Monitoraggio EEG. Mappe di EEG e di potenziali evocati.

Applicazioni delle tecniche di filtraggio numerico e di metodi algoritmici all'elaborazione dei segnali biologici sopra menzionati (pre-elaborazione, miglioramento del rapporto segnale/disturbo, estrazione di parametri significativi dal punto di vista clinico, ecc.).

- Dal filtraggio deterministico al filtraggio statistico. Richiami da altri corsi sulle definizioni di base di processo stocastico. Famiglie di modelli. Analisi di serie temporali derivanti da segnali biologici.

- Applicazione dei metodi di identificazione parametrica (modelli AR/MA/ARMA). Analisi spettrale di tipo parametrico compresi i metodi a massima entropia, di Pisarenko, di Prony, ecc. Confronto con le tecniche tradizionali. Esempi vari sui segnali di variabilità cardiaca, EEG, EP, ecc.

- Applicazione di filtri ottimi (filtri di Wiener, di Kalman). Esempi vari relativi ad ECG, EEG, EP (pre-elaborazione, filtraggio, predizione, estrazione e stima di parametri, classificazione diagnostica).

- Confronto tra i metodi di elaborazione tradizionale ed i metodi più avanzati a livello di ricerca, riferiti ai segnali biologici sopra menzionati, sulla base delle metodologie e tecnologie descritte nel corso e dell'applicabilità e rilevanza in sede clinica.

### *Esercitazioni*

Verranno dedicate alcune ore allo svolgimento di temi di carattere sperimentale integrate da visite presso ospedali, laboratori e strutture di ricerca nel settore.

### *Modalità d'esame*

L'esame è orale e verte sugli argomenti del presente programma.

### *Libri consigliati per l'esame*

S. Cerutti *Filtri numerici per l'elaborazione di segnali biologici*, ed. CLUP, Milano, 1983.

Appunti dalle lezioni.

### *Testi di riferimento (Facoltativi):*

E.M. Glaser, D.S. Ruchkin, *Principles of neurobiological signal analysis*, Academic Press, 1976.

J.G. Webster ed., *Medical Instrumentation*, Houghton Mifflin Co., II edition, Boston, USA, 1992.

A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer, *Elaborazione numerica dei segnali*, Franco Angeli ed., Milano, 1981.

S.M. Bozic, *Digital and Kalman filtering*, Edward Arnold Publ. Ltd., London 1979.

S. Bittanti, *Identificazione parametrica*, ed. CLUP, Milano, 1981.

**ELABORAZIONE DI SEGNALI E DI INFORMAZIONI DI MISURA**  
**Prof. Alessandro FERRERÒ****AH0120***Programma d'esame*

**Generalità.** Richiamo dei concetti di base dell'elaborazione di segnali a scopo di misura.

**Strumentazione digitale di misura.** Sistemi di misura automatici: I bus standard. Bus Seriale RS232. Bus parallelo IEEE488. VME Bus. VXI Bus. Interfacciamento di strumenti al bus. Interfacciamento del calcolatore al bus. Lo strumento intelligente. Lo strumento virtuale. Sistemi di misura a logica programmata: I sistemi di conversione D/A e A/D. I sistemi di elaborazione numerica di segnali. Microcalcolatori. DSP.

**Elaborazione numerica di segnali.** Teoria dei segnali tempo-discreti. Le sequenze. Analisi delle sequenze nei domini del tempo e della frequenza. La trasformata di Fourier di una sequenza. La trasformata  $z$ .

**Il campionamento dei segnali.** Il teorema del campionamento. Il campionamento dei segnali periodici.

**Metodi per l'analisi in frequenza dei segnali.** La Trasformata di Fourier Discreta (DFT). Errori nella determinazione degli spettri di ampiezza e fase con la DFT. Interferenza armonica. Metodi per la riduzione degli errori. Impiego di opportune finestre di campionamento. Algoritmi veloci per l'analisi in frequenza dei segnali (FFT).

**Il filtraggio numerico.** I filtri FIR e IIR. Progettazione di filtri numerici. Realizzazione con tecniche numeriche delle funzioni di trasferimento tipiche di noti filtri analogici.

*Esercitazioni*

Il corso sarà corredato di esercitazioni di laboratorio in cui gli studenti saranno chiamati ad utilizzare e programmare sistemi di elaborazione numerica di segnali. Verranno applicati i concetti teorici esposti a lezione e saranno messi a punto alcuni procedimenti di misura particolarmente significativi nel campo dell'automazione industriale.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale.

*Libri consigliati*

Oppenheim, Schaffer: *Elaborazione numerica dei segnali*, Franco Angeli, 1981.

Oram-Brigham: *The Fast Fourier Transform and its applications*, Prentice-Hall, 1988.

**ELABORAZIONE E TRASMISSIONE DELLE IMMAGINI**  
**Prof. Stefano TUBARO****AG0219***Programma d'esame***Parte I: fondamenti****1. Teoria dei segnali mono/multi-dimensionali:**

Campionamento di segnali mono/multi-dimensionali, reticoli, trasformate di Fourier, DFT, DCT.

Cenni sulla trasformata Zeta mono/multi-dimensionale. Filtri FIR e IIR. Sintesi di filtri separabili e non.

**2. Modelli della visione, fenomeni visivi e percettivi**

Modelli per il sistema di percezione visiva umana. Percezione dei colori e colorimetria.

**3. Acquisizione e visualizzazione delle immagini**

La generazione delle immagini ottiche. Sensori allo stato solido. Visualizzazione di immagini: dispositivi e sistemi disponibili.

**4. Codifica e trasmissione delle immagini**

Ridondanza spaziale e temporale. Modelli statistici per le immagini. Quantizzazione: tecniche scalari e vettoriali. Trasformazioni lineari per la decorrelazione dell'informazione. Predizioni spaziali, temporali e stima del movimento. Generalità sui metodi di compressione e codifica più usati (JPEG, H261, MPEG 1/2, Facsimile).

**5. Tecniche di elaborazione delle immagini.**

Miglioramento e restauro di immagini: modifica della dinamica, filtri di Wiener, deconvoluzione, filtri non lineari. Estrazione di contorni. Riconoscimento di caratteri: metodi di decisione statistica e apprendimento.

**6. Sintesi di immagini e modelli geometrici**

Trasformazioni geometriche in 2 e 3 dimensioni. Proiezioni parallele e prospettiche. Rappresentazione di superfici 3D: maglie e poligoni. Modelli di illuminazione e riflessione.

**Parte II: approfondimenti****7. Tecniche evolute di elaborazione di immagine**

Segmentazione di immagini. Tecniche evolute per la stima del moto in sequenze di immagini. Stereometria bi/multi-oculare. Ricostruzione di superficie 3D e del loro moto. Elaborazione morfologica. Tecniche per la sintesi di immagini fotorealistiche.

*Esercitazioni*

Si terranno esercitazioni numeriche ed al calcolatore.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta ed in una prova orale, parzialmente sostituibile con un elaborato.

*Testi consigliati*

J.S. Lim: *Two-dimensional Signal and Image Processing*, Prentice Hall, 1990.

S. Brofferio, V. Rampa, S. Tubaro: *La Comunicazione Visiva*. CLUP, 1993.

Appunti delle lezioni (fotocopie). CittàStudi, 1994.

*Bibliografia d'approfondimento*

R.C. Gonzales, R.E. Woods: *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992.

J.D. Foley, A van Dam, S.K. Feiner, J.F. Hughes: *Computer Graphics Principles and Practice*, Addison Wesley, 1990.

N. Ayache: *Artificial Vision for Mobile Robots*, MIT Press, 1990.

R.O. Duda, P.E. Hart: *Pattern Classification and Scene Analysis*, Wiley, 1973.

**ELABORAZIONE NUMERICA DEI SEGNALI**  
**Proff. Fabio ROCCA, Umberto SPAGNOLINI**

**AG0230**

*Programma d'esame*

1. Campionamento. Disturbi da equivocazione (aliasing) e prefiltraggi.
2. Ricostruzione di un segnale continuo da una sequenza regolare di campioni. Interpolatori lineari, ad archi di parabola e di cubica. La linea elastica. Interpolazione da una sequenza irregolare di campioni.
3. La trasformata z. Poli e zeri. Sequenze causali e anticausali. Sequenze a fase minima.
4. La trasformata di Fourier discreta. Campionamento nei tempi e nelle frequenze. Asse dei tempi circolare. Filtraggio di sequenze lunghe: tecniche di overlap-save e overlap-add.
5. La trasformata veloce di Fourier.
6. Filtri a risposta all'impulso finita. Finestre temporali e convoluzioni tra spettri. Finestre di Hamming, Hann etc.. Sintesi con il metodo Remez.
7. Richiami delle equazioni differenziali ed alle differenze finite. Derivatori approssimati per segnali campionati. Derivatore recursivo (Crank Nicholson). La trasformazione bilineare. Sintesi diretta di filtri recursivi. Corrispondenza con filtri analogici. Filtri a campionamento in frequenza.
8. Strutture di filtri numerici: cascata, parallelo. Sensibilità alla quantizzazione dei coefficienti.
9. Quantizzazione dei segnali. Calcolo dello spettro del disturbo.
10. La trasformazione di Hilbert nel continuo e nel discreto.
11. Analisi spettrale non parametrica. Periodogramma.
12. Strutture riverberanti. Filtri a reticolo recursivi.
13. Analisi spettrale parametrica a media mobile. Stima spettrale autoregressiva.
14. Predizione lineare. Equazioni di Yule Walker. Filtri a reticolo non recursivi.
15. Sistemi adattativi. La tecnica di Widrow-Hoff. Filtri a reticolo adattativi.
16. Le direzioni di arrivo.
17. Il segnale vocale. Formanti e tratto vocale. Codifica a riduzione di ridondanza. Modulazione delta. Modulazione differenziale a codice adattiva. Tecniche predittive. Cenni alla codifica del segnale musicale.
18. Sistemi bidimensionali. Singolarità. Invarianza spaziale.
19. Trasformata di Fourier a 2D. Trasformata di Hankel.
20. Filtri ideali 2D. Filtri a ventaglio.
21. Filtri 2D di natura fisica. Le equazioni del calore, dell'elettrostatica, della propagazione di onde.
22. Sequenze 2D. Campionamento e campionamento esagonale. Il segnale televisivo interallacciato. Ricostruzione 2D. Interpolazione mediante stima lineare. Tracciamento di curve di livello di superfici note su un reticolo irregolare.
23. La trasformazione di Fourier discreta a 2D. Filtri 2D. Trasformazione di Me Clellan.
24. Tomografia assistita dal calcolatore.
25. Decimazione ed interpolazione. I filtri polifase. Filtri in quadratura a specchio.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta, eventualmente seguita da un esame orale.

*Libri consigliati*

- F. Rocca, Elaborazione numerica dei segnali, CUSL, 1996.  
 A. Monti Guamieri, A. Sarti, *Elaborazione numerica dei segnali: esempi ed applicazioni*, CUSL, 1995  
 J. Proakis, D. Manolakis, *Digital Signal Processing*, Wiley Interscience, 1995.  
 R.A. Haddad, T.W. Parsons: *Digital Signal Processing*, Computer Science Press, 1991.

**ELETTROCHIMICA APPLICATA**  
**Prof. Giovanni SERRAVALLE****000857***Programma d'esame*

- 1.1 sistemi elettrochimici come caso particolare dei bipoli elettrici.**
- 2. Studio dei fenomeni di conduzione elettrica.** Conduttori ionici o misti. Soluzioni elettrolitiche. Generalità sulla circolazione dicorrente nelle catene galvaniche.
- 3. Stechiometria delle reazioni elettrochimiche.** Leggi di Faraday. Processi elettrodi concorrenti. Reazione di catena.
- 4. Misure di conducibilità delle soluzioni elettrolitiche.** Mobilità ioniche. Numeri di trasporto.
- 5. Proprietà termodinamiche delle soluzioni elettrolitiche.**
- 6. Energetica delle catene galvaniche.** Misura delle forze elettromotrici.
- 7. Serie delle tensioni elettrochimiche.** Grado di nobilità. Pile di concentrazione. Pile di ossido riduzione. Comportamento elettrochimico dei metalli che forniscono cationi di valenza diversa. *pH*.
- 8. Cinetica dei fenomeni elettrochimici.** Sovratensione nei processi elettrodi con scambio di ioni del metallo elettrodo. Sovratensione di idrogeno. Sovratensione di ossigeno. Cinetica dei fenomeni di passivazione. Intervento degli anioni. Polarizzazione di concentrazione. Processi elettrodi a controllo di diffusione. Corrente limite. Bilancio di tensioni in una cella galvanica.
- 9. Problemi di ripartizione nei sistemi galvanici.** Elettrodi misti. Tensione elettrodica mista.
- 10. Processi elettrolitici in sale fuso.**
- 11. Processi elettrolitici non metallurgici in soluzione acquosa.** L'elettrolisi dei cloruri alcalini.
- 12. L'impianto elettrochimico.** La cella ed il circuito di elettrolisi.
- 13. Estrazione e raffinazione dei metalli per via elettrochimica.** Galvanica.
- 14.1 sistemi elettrochimici quali fonti d'energia.**

*Esercitazioni*

Misure elettrochimiche tipiche. Discussione di problemi elettrochimici.

*Libri consigliati*

- P. Gallone: *Trattato di ingegneria elettrochimica*, Tanburini Milano, 1973.  
G. Bianchi-T. Mussini: *Fondamenti di Elettrochimica*, Masson Milano 1993.

**ELETTRONICA****000876**

(per gli allievi di Ingegneria Biomedica, Informatica e delle Telecomunicazioni)  
**Prof. Giancarlo RIPAMONTI**

*Programma d'esame*

- 1. Amplificatori integrati e loro applicazioni (N. 20 ore).**  
Generalità sugli amplificatori; amplificatori operazionali ideali e non. Analisi delle configurazioni base con riferimento ai sistemi reazionati; errore statico, desensibilizzazione, impedenza di ingresso e di uscita. Analisi dinamica degli amplificatori reazionati: applicazioni della trasformata di Fourier e di Laplace allo studio dei circuiti elettronici, poli, zeri. Integrale di convoluzione e risposta temporale. Diagrammi di Bode e luogo delle radici. Stabilità. Compensazione degli anelli instabili: a polo dominante, a polo e zero. Oscillatori e multivibratori (cenni). Effetti circuitali delle principali non idealità degli amplificatori operazionali (correnti di bias, tensione di offset, slew-rate

ecc.). Applicazioni lineari (sommatori, filtri attivi, integratori derivatori ecc.) e principali applicazioni non lineari (diodi amplificati e amplificatori logaritmici).

## **2. Componenti elementari integrati (N. 15 ore).**

Elementi di fisica dei semiconduttori: diagrammi a bande, legge dell'azione di massa, correnti di deriva e di diffusione. Diodi a giunzione: relazione tensione-corrente, capacità. Struttura MOS: diagramma a bande; banda piatta; regimi di svuotamento, inversione debole e forte. Transistore MOS: tensione di soglia, relazione tensione-corrente in regime triodo e di saturazione. Transistore bipolare: struttura, modello di Ebers-Moll, funzionamento in regime attivo e di saturazione.

## **3. Circuiti elementari (N. 15 ore).**

Circuiti equivalenti dei componenti fondamentali; cenno agli elementi parassiti. Concetto di piccolo segnale e di linearizzazione. Polarizzazione di componenti attivi in circuiti discreti ed integrati; effetti delle non uniformità dei parametri e della temperatura sul punto di funzionamento; sensibilità. Dinamica di ingresso e di uscita; cenno alle distorsioni. Polarizzazione interpretata come sistema reazionato in continua. Amplificazione di tensione e di corrente, impedenza di ingresso e di uscita, poli e zeri delle tre configurazioni fondamentali a singolo stadio; effetto Miller, prodotto guadagno-banda. Circuiti reazionati su singolo stadio.

## **4. Circuiti per elettronica discreta ed integrata (N. 15 ore).**

Stadi di amplificazione Cascode, Differenziale, Darlington. Stadi finali: configurazione in classe A, AB e B. Rendimento di stadi di potenza. Specchi di corrente e carichi attivi. Struttura semplificata di amplificatore operazionale CMOS, compensazione e slew-rate; origine delle non idealità e cenni ai metodi per la loro riduzione.

## **5. Circuiti logici CMOS (N. 20 ore).**

Porte logiche elementari CMOS: caratteristiche statiche, margine di rumore, tensione di soglia. Comportamento dinamico: tempi di commutazione, fan-out, dissipazione di potenza. Prodotto ritardo-consumo. Tecnologie di fabbricazione di circuiti integrati CMOS. Interruttori elettronici MOS, transmission gates, porte logiche completamente complementari. Cenni ai problemi della trasmissione di segnali logici: carichi capacitivi, linee di trasmissione. Bus e circuiti specifici. Buffer per grandi carichi capacitivi. Latch-up e cenni alla sua prevenzione. Celle di memoria statiche e dinamiche. Principali tecniche di conversione analogico-digitale e digitale-analogica.

## **6. Applicazioni (N. 15 ore).**

Interfacciamento di sensori o rivelatori alla elettronica: front end specializzati (amplificatori da strumentazione, amplificatori a transconduttanza ecc). Alimentatori e stabilizzazione della tensione di alimentazione. Filtraggio di segnali a banda larga e stretta. Rivelazione di segnali modulati in ampiezza.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni numeriche approfondiranno argomenti trattati a lezione e svilupperanno applicazioni notevoli.

### *Libri consigliati*

Sedra Smith: *Microelectronic Circuits*, 3rd edition Saunders College Publishing (1991) o edizione italiana (1994)

appunti dalle lezioni

*Per approfondimento sugli aspetti fisici:*

Muller Kamins: *Device Electronics for Integrated Circuits*, 2nd edition J.Wiley (1986)

**ELETTRONICA**  
**Prof. Alberto FAZZI****000860***Programma d'esame*

**1. Richiami di teoria delle reti elettriche ed amplificatori.** Metodi matematici di analisi delle reti elettriche: analisi per maglie e per nodi; funzioni di trasferimento e loro proprietà; definizione di sistema reazionato e sue proprietà elementari. Generatori di tensione e di corrente comandati. Cenni ai metodi per l'analisi al calcolatore delle reti elettriche. Generalità sugli amplificatori; amplificatori operazionali ideali e non. Analisi delle configurazioni base con riferimento ai sistemi reazionati; errore statico, desensibilizzazione, impedenza di ingresso e di uscita. Analisi dinamica degli amplificatori reazionati: applicazioni della trasformata di Fourier e di Laplace allo studio dei circuiti elettronici, poli, zeri. Integrale di convoluzione e risposta temporale. Diagrammi di Bode e luogo delle radici. Stabilità. Compensazione degli anelli instabili: a polo dominante, a polo e zero. Oscillatori e multivibratori (cenni). Effetti circuitali delle principali non idealità degli amplificatori operazionali, (correnti di bias, tensione di offset, slew-rate ecc.). Applicazioni lineari (sommatori, filtri attivi, integratori derivatori ecc.) e principali applicazioni non lineari (diodi amplificatori e amplificatori logaritmici).

**2. Componenti elementari integrati.** Elementi di fisica dei semiconduttori: diagrammi a bande, legge dell'azione di massa, correnti di deriva e di diffusione, vita media. Diodi p-n: relazione tensione-corrente, capacità. Struttura MOS: diagramma a bande; banda piatta; regimi di svuotamento, inversione debole e forte. Transistore MOS: tensione di soglia, relazione tensione-corrente in regime triodo e di saturazione. Transistore bipolare: struttura, modello di Ebers-Moll, funzionamento in regime attivo e di saturazione.

**3. Circuiti elementari.** Circuiti equivalenti dei componenti fondamentali; cenno agli elementi passivi. Concetto di piccolo segnale e di linearizzazione. Polarizzazione di componenti attivi in circuiti discreti ed integrati; effetti delle non uniformità dei parametri e della temperatura sul punto di funzionamento; sensibilità. Dinamica di ingresso e di uscita; cenno alle distorsioni. Polarizzazione interpretata come sistema reazionato in continua. Amplificazione di tensione e di corrente, impedenza di ingresso e di uscita, poli e zeri delle tre configurazioni fondamentali a singolo stadio; effetto Miller, prodotto guadagno-banda. Circuiti reazionati su singolo stadio.

**4. Circuiti per elettronica discreta ed integrata.** Stadi di amplificazione Cascode, Differenziale, Darlington. Stadi finali: configurazione in classe A, AB e B. Rendimento di stadi di potenza. Specchi di corrente e carichi attivi. Struttura semplificata di amplificatore operazionale CMOS: origine delle non idealità e cenni ai metodi per la loro riduzione.

**5. Circuiti logici CMOS.** Porte logiche elementari CMOS: caratteristiche statiche, margine di rumore, tensione di soglia. Comportamento dinamico: tempi di commutazione, fan-out, dissipazione di potenza. Prodotto ritardo consumo. Tecnologie di fabbricazione di circuiti integrati CMOS. Interruttori elettronici MOS, transmission gates, porte logiche completamente complementari. Circuiti logici dinamici, logica Domino. Trasmissione di segnali logici: linee di trasmissione, impedenza caratteristica, riflessioni. Bus e circuiti specifici. Buffer per grandi carichi capacitivi. Latch-up e cenni alla sua prevenzione. Celle di memoria statiche e dinamiche. Principali tecniche di conversione analogico-digitale e digitale-analogica

**6. Applicazioni.** Interfacciamento di sensori e rivelatori alla elettronica: front end specializzati (amplificatori da strumentazione, amplificatori a transcoduttanza ecc.). Alimentatori e stabilizzazione della tensione di alimentazione. Filtraggio di segnali a banda larga e stretta. Rivelazione di segnali modulati in ampiezza.

*Libri consigliati*

Sedra-Smith: *Microelectronics Circuits*, 3rd Edition Saunders College Publishing (1991)

Appunti dalle lezioni

*Per approfondimento sugli aspetti fisici:*

Muller Kamins: *Device Electronics for Integrated Circuits*, 2nd edition J. Wiley (1986)

Per approfondimento sulla teoria delle reti:

Gatti Manfredi Rimini: *Elementi di teoria delle reti lineari* Casa Editrice Ambrosiana (1966).

**ELETTRONICA BIOMEDICA****AA0018****Prof. Antonio PEDOTTI***Programma d'esame*

**Introduzione al corso** - Problematiche generali nella gestione della salute e ruolo della strumentazione e delle Tecnologie. Cenni di Terminologia in Fisiopatologia. Generalità sulla strumentazione biomedica, con particolare riferimento all'elettronica.

**Classificazione, caratteristiche e specifiche della strumentazione biomedica** - Elaborazione dei segnali biologici: problemi hardware (amplificatori - filtri) e Software (filtri digitali - elaborazione nel dominio del tempo e della frequenza - modellistica).

**Trasduttori nella strumentazione biomedica e principi di funzionamento** - Misure di temperatura. Misure ottiche. Fibre ottiche. Misure di grandezze meccaniche: forze, spostamenti, pressioni.

**Organizzazione funzionale del sistema neuromuscolare** - Mezzi di indagine. Segnali di natura elettrica (Elettromiogramma, Elettroencefalogramma,) e Potenziali Evocati. Strumentazione. Elettrodi. Analisi quantitative.

**Organizzazione funzionale del sistema cardiovascolare e mezzi di indagine** - Elettrocardiografia, Ecografia. Elaborazione standard e tecniche di compressione e quantificazione del segnale per la diagnosi automatica. Pressione arteriosa, Flusso e Volume del sangue. Tecniche di misura ed elaborazione. Cateteri. Ultrasuoni.

**Laboratorio di analisi** - Struttura e organizzazione generale. Tecniche di analisi (Elettroforesi, Ematologia. Spettrofotometria), elaborazione e archiviazione dati.

**Elaborazione di immagini biomediche** - Immagini TV, Radiografia, Termografia, Tomografia Assiale Computerizzata, Tecniche degli ultrasuoni: contenuto informativo e rumore - Problemi generali di elaborazione e ricostruzione del segnale.

**Dispositivi terapeutici** - Stimolatori elettrici. Protesi d'arto. Prospettive e Problemi.

**Prospettive e linee di tendenza** - Il calcolatore nella diagnosi assistita. Nuove tecnologie.

*Esercitazioni*

Durante l'anno verranno effettuate visite presso ospedali, laboratori e strutture di ricerca nel settore.

*Modalità d'esame*

L'esame è orale e verte sugli argomenti del presente programma. Sono previste prove scritte durante l'anno.

*Libri consigliati*

*Tecnologie in medicina: principi ed applicazioni*, A. Pedotti. Ed. Clup, 1989.

*Medical Instrumentation. Application and Design*, J.G. Webster Ed. Houghton, Mifflin Co. Boston 1978.

*Trasduttori per misure biomediche. Principi e applicazioni*, R.S.C. Cobbold. J. Wiley & Sons, 1974.

*Biomedical Instruments Theory and Design*, W. Welkowitz & Sid Deutsch, Academic Press, 1976.

*Automazione Sanitaria: le misure diagnostiche*, F.M. Montevicchi-F. Pizzutilo, CLUP, Milano.

*Automazione Sanitaria: l'elaborazione delle misure biomediche*, F.M. Montevicchi-F. Pizzutilo, CLUP, Milano.

**ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI****AG0273****Prof. Giancarlo RIPAMONTI***Programma d'esame***1) Famiglie logiche per integrazione a grande scala (N. 15 ore).**

Famiglie CMOS, CML, ECL, BiCMOS: tecnologia, caratteristiche statiche, tempi di commutazione, interazione fra complessità realizzativa e caratteristiche elettriche. Logiche a pass-transistors. Logiche dinamiche. Elementi di memoria nelle varie tecnologie. Floating gates: tunneling nell'ossido, carica e scarica, celle per memorie EEPROM, FLASH. Logiche in GaAs: transistori; tecnologie; caratteristiche. Cenno alle logiche adiabatiche.

**2) Collegamenti fra porte logiche (N. 20 ore).**

Linee di trasmissione: impedenza caratteristica, terminazioni resistive, reattive, lineari e non lineari. Ritardo di propagazione. Metodi per la riduzione delle riflessioni di linea. Metallizzazioni su chip: resistenza, capacità, tempi di propagazione. Conseguenze sul progetto logico. Propagazione dei segnali di clock e loro sincronizzazione: metodi elettrici, architetture self-timing. Timing in circuiti sincroni. Metastabilità. Collegamenti fra chip: buffers, bus, porte three-state, ricevitori con trigger di Schmitt. Rumore delle linee di alimentazione: "ground bounce" e sua minimizzazione. Interferenze fra linee adiacenti e loro minimizzazione. Uso di segnali differenziali. Collegamenti in fibra ottica.

**3) Processi di produzione di circuiti integrati ed automazione del progetto (N. 10 ore).**

Tecnologie di fabbricazione di circuiti integrati avanzati. Larghezza minima di riga, regole di progetto, tecniche di layout. Minimizzazione dell'area occupata. Automazione del progetto: specifiche, verifica automatizzata, estrazione del circuito, simulazione circuitale e logica.

**4) Dispositivi submicrometrici (N. 10 ore).**

Vantaggi della riduzione delle dimensioni dei dispositivi. Transistori MOS submicrometrici: scaling, conseguenze sulle caratteristiche elettriche. Fenomeni parassiti: correnti sottosoglia, punch-through, elettroni caldi e loro impatto sulle caratteristiche elettriche e di affidabilità dei circuiti. Transistori MOS avanzati: LDD, gate engineering. Latch-up: descrizione, metodi per la prevenzione, tecnologie SOI. Prevenzione delle scariche elettrostatiche. Elettromigrazione. Transistori bipolari VLSI.

**5) Progetto "low power" e progetto "high speed" (N. 10 ore).**

Logiche a bassa tensione e bassa potenza. Metodi per la riduzione dei parassitismi capacitivi. Architetture di sistema per minima potenza dissipata (pipelining, parallelismo ecc.). Stili di progetto per applicazioni ad alta velocità. Confronto fra celle standard per le varie applicazioni. Collegamenti fra chip: multichip, SMD, circuiti ibridi, circuiti stampati. Effetti sui componenti parassiti.

**6) Scelta della logica in applicazioni specifiche (N. 5 ore).**

Confronto fra logiche. Cifre di merito. Scelta fra logiche "random" e logiche strutturate (PLA, Gate Arrays ecc.). Scelte in base alle applicazioni: basso consumo, alta reiezione di disturbi ecc..

**7) Applicazioni (N. 30 ore).**

Generatori di clock quarzati e non. PLL e loro applicazione nella ricostruzione dei segnali di clock in trasmissioni digitali e nella moltiplicazione di frequenza. Circuiti per la trasmissione e la ricezione in comunicazioni digitali ottiche. Memorie RAM e ROM: interazione fra struttura e caratteristiche; tempo di accesso e di scrittura. Ritenzione deirinformazione, refresh, sense amplifiers. Layout di celle di memoria: rapporti con tecnologia, impaccamento, caratteristiche elettriche. Circuiti di lettura-scrittura per memorie magnetiche. Data path: sommatore, moltiplicatori ecc.. Introduzione di elementi digitali in circuiti integrati prevalentemente analogici e viceversa.

*Esercitazioni*

Verrà sviluppato il progetto di un circuito integrato digitale. Gli studenti sono invitati ad usufruire dei mezzi di calcolo disponibili atti al progetto elettrico e fisico di circuiti integrati digitali.

*Modalità d'esame*

L'esame orale, che verte sia sugli argomenti sviluppati a lezione che sul progetto sviluppato nelle esercitazioni, può essere preceduto da una prova scritta.

*Libri consigliati*

R. L.Geiger, P.E.Allen, N.R.Strader: *VLSI design techniques for analog and digital circuits* McGraw-Hill, 1990

S. M.Kang, Y.Lehlebic: *CMOS digital integrated circuits* McGraw-Hill, 1995

H.B. Bakoglu: *Circuits, inter connections, and packaging for VLSI*, Addison Wesley, 1990

**ELETTRONICA DI POTENZA****000866****Prof. Massimo GHIONI***Programma d'esame***1) Dispositivi elettronici per il trattamento della potenza, circuiti di comando e di protezione**

Gestione efficiente della potenza elettrica. Interruttori elettronici integrabili. Transistori bipolari di potenza: struttura e caratteristiche, limitazioni operative, secondo breakdown, Safe Operating Area (SOA). Transistori DMOS di potenza: strutture verticali e laterali, strutture per alte tensioni. Resistenza in zona triodo. Comportamento in commutazione. Limitazioni operative dei DMOS. Confronto tra bipolari e DMOS. Cenni ad altri dispositivi di potenza: IGBT, SCR, GTO.

Circuiti per il pilotaggio degli interruttori "low-side". Circuiti per il pilotaggio degli interruttori "high-side": bootstrap e pompe di carica. Controllo dello slew-rate. Circuiti di protezione dalle sovratensioni, sovracorrenti e sovratemperature.

**2) Tecnologie dei circuiti integrati di potenza**

Potenza "intelligente". Tecnologie miste Bipolari, CMOS, DMOS (BCD). Problemi derivanti dall'integrazione di diverse famiglie di dispositivi. Tecniche di isolamento. Schema di flusso del processo di fabbricazione. Tecniche per l'alta tensione. Caratteristiche dei dispositivi integrabili nel processo BCD. Strutture parassite.

**3) Circuiti per applicazioni audio**

Stadi finali di potenza in classe A, B, AB. Efficienza. Amplificatori in classe D: modulazione PWM. Schema TSM (Two State Modulation). Struttura circuitale di un amplificatore in classe D. Dissipazione di potenza ed efficienza. Distorsione. Circuiti di protezione.

**4) Circuiti per la regolazione di tensione**

Generalità. Principali configurazioni dei convertitori dc-dc a commutazione (Buck, Boost, Buck-Boost, Cuk), modi di funzionamento (DCM e CCM) e tecniche di controllo PWM (voltage e current mode, voltage feed-forward). Cenni alla linearizzazione dello stadio di potenza e all'analisi dinamica. Analisi di un regolatore integrato in configurazione Buck. Alimentatori a commutazione. Cenni ai convertitori risonanti.

**5) Circuiti per applicazioni industriali**

Controllo dei motori: generalità, convertitori "full-bridge". Circuiti di controllo per motori in continua e per motori passo-passo. Circuiti di controllo per motori "brushless". Attuatori voice-coil e relativi circuiti di controllo. Circuiti per il pilotaggio dei solenoidi. Applicazioni nel settore automobilistico.

**6) "Packaging" dei circuiti integrati di potenza**

Gestione della potenza dissipata. Resistenza termica. Impedenza termica in transitorio. Caratteristiche dei package per i circuiti integrati di potenza. Cenni al dimensionamento dei dissipatori.

*Esercitazioni*

Durante il corso vengono svolte esercitazioni numeriche mirate ad approfondire il dimensionamento e l'analisi delle applicazioni circuitali illustrate durante le ore di lezione.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale, eventualmente preceduta da una prova scritta

*Libri consigliati*

N.Mohan, T.Undeland, W.Robbins: *Power Electronics* 2nd Edition, John Wiley & Sons (1995)

B.Murari, F.Bertotti, G.A.Vignola: *Smart power ICs*, Springer (1995)

Ulteriori riferimenti bibliografici saranno forniti durante lo svolgimento del corso.

**ELETTRONICA I****000837****Proff. Giorgio PADOVINI, Marco SAMPIETRO***Programma d'esame***1. Componenti elettronici a semiconduttore.**

I semiconduttori: elettroni e lacune, donori e accettori, corrente di deriva e di diffusione, mobilità. Tecnologia planare su silicio. Diodo p-n: correnti di elettroni e di lacune, caratteristica I-V. Polarizzazione inversa: correnti di generazione, fenomeno di valanga. Diodi zener e loro uso. Transistori bipolari a giunzione (BJT): principio di funzionamento, curve caratteristiche, guadagno di corrente, modelli per piccoli e grandi segnali, zone di funzionamento. Transistori ad effetto di campo: principi di funzionamento, tensione di soglia e di pinch-off, caratteristica quadratica, modelli equivalenti. MOSFET ad arricchimento ed a svuotamento.

**2. Amplificatori lineari a transistori.**

Tecniche di polarizzazione dei circuiti a transistori bipolari e FET. Stabilità della polarizzazione. Piccolo segnale e linearizzazione della risposta. Stadi Emitter/Source a massa, stadi Base/Gate a massa, stadi Emitter/Source follower: linearità e dinamica, impedenze di ingresso ed uscita, guadagno e stabilità. Circuiti amplificatori a più stadi: collegamenti AC e DC, polarizzazione, guadagno massimo, impedenze di ingresso e di uscita. Circuiti differenziali: segnali differenziali e di modo comune, guadagno, non idealità, uscita single-ended, simmetria. Specchio di corrente: principio di funzionamento ed uso nei circuiti. Stadio differenziale con specchio. Introduzione aH'amplificatore operazionale. Funzionamento dei circuiti per grandi segnali ed in commutazione: circuiti di taglio e vincolo, limitatori, rettificatori, differenziale; invertitori a BJT, MOS. Dinamica dei circuiti su grandi segnali.

**3. Analisi in frequenza degli amplificatori.**

Funzione di trasferimento, poli e zeri, rappresentazione di Bode e sul piano complesso. Comportamento in frequenza dei FET e dei BJT: frequenza di taglio e modelli equivalenti. Comportamento in frequenza degli stadi elementari a singolo transistoro. Metodo delle costanti di tempo. Effetto Miller. Prodotto guadagno-banda. Stadio Cascode. Analisi in frequenza di circuiti a più stadi. Accoppiamento in AC tra stadi. Ricerca del polo dominante.

**4. Amplificatori reazionati.**

Principi della reazione. Desensibilizzazione del guadagno da variazioni dei parametri. Effetti della reazione sulle caratteristiche di un circuito. Calcolo del guadagno d'anello. Trasferimento di ingresso-uscita con retroazione ideale: circuiti ad operazionali. Terra virtuale. Guadagno reale di circuiti reazionati con guadagno d'anello finito. Impedenze di ingresso e di uscita. Comportamento in frequenza. Analisi completa di circuiti reazionati negativamente.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta che può essere integrata a giudizio del docente da una prova orale.

*Libri consigliati*

A.S.Sedra, K.C.Smith: *Microelectronic Circuits*, Saunders College Publishing  
 P.R. Gray, R.G. Meyer: *Analysis and design of analog integrated circuits* (Third edition), John Wiley.  
 A. Lacaita, M. Sampietro: *Circuiti elettronici*, CittàStudi.  
 F.Zappa, *Elettronica Applicata- Circuiti e quesiti risolti*, Ed.Esculapio  
*Altri testi di consultazione*  
 R.S. Müller, T.I. Kamins: *Device Electronics for Integrated Circuits*, (second edition), John Wiley.  
 D.A.Neamen, *Semiconductor Physics and Devices*, Irwin Press.  
 P. Horowitz, W. Hill: *The Art of Electronics*, Cambridge University Press.

**ELETTRONICA II****000863**

(per gli allievi di Ingegneria Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni)

**Giuseppe MACCHIARELLA****1. Complementi di teoria dei circuiti**

1.1 Circuiti equivalenti per piccoli segnali di MOS, FET, BJT; rappresentazione matriciale di doppi. Metodologie CAD per l'analisi di circuiti elettrici (programma SPICE).

- 1.2 Cenni sulla caratterizzazione per grandi segnali di dispositivi a semiconduttore (BJT, JFET, MOS); analisi della distorsione da non linearità; modelli per dispositivi attivi e passivi.
- 1.3 Il rumore nei circuiti elettrici: metodologie per l'analisi di circuiti con sorgenti di rumore. Cenni sulla natura fisica delle principali sorgenti di rumore nei dispositivi attivi e passivi.
- 1.4 Richiami sulle metodologie di progetto dei filtri elettrici: approssimazione polinomiale della risposta (Butterworth / Chebycheff); progetto del prototipo passa-basso; trasformazioni in frequenza.
- 1.5 La retroazione positiva: caratteristiche generali e suo impiego nella generazione di segnali sinusoidali (oscillatori a retroazione).
- 2. Classificazione, caratteristiche di base e applicazioni fondamentali dei circuiti integrati digitali**
- 2.1 Funzioni logiche elementari. Proprietà e caratterizzazione dei circuiti digitali. Parametri caratteristici.
- 2.2 Le principali famiglie logiche in tecnologia bipolare e MOS (TTL, ECL, NMOS, CMOS): caratteristiche strutturali, comportamento elettrico, prestazioni e modalità di impiego. La tecnologia dell'arseniuro nelle applicazioni digitali: caratteristiche ed esempi realizzativi.
- 2.3 Circuiti per la memorizzazione di informazione binaria: realizzazione della cella elementare di memoria nelle varie famiglie.
- 2.4 Classificazione dei circuiti digitali: circuiti combinatori e sequenziali. Esempi applicativi.
- 2.5 Interconnessione di componenti logici: propagazione di segnali impulsivi sui bus.
- 3. Elaborazione analogica del segnale in banda base**
- 3.1 L'Amplificatore Operazionale: caratteristiche fondamentali, principali parametri statici e dinamici. Compensazione interna e sull'anello di reazione. Modalità di impiego.
- 3.2 Cenni sul progetto di filtri attivi con l'impiego di amplificatori operazionali.
- 3.3 Esempi di applicazioni lineari e non lineari dell'amplificatore operazionale.
- 3.4 Stadi di uscita per grandi segnali: principali configurazioni.
- 4. Elaborazione analogica del segnale RF**
- 4.1 Parametri caratteristici e specifiche per amplificatori a radio frequenza; cenni sul progetto di amplificatori RF per piccoli segnali.
- 4.2 Analisi e dimensionamento dei principali tipi di oscillatore sinusoidali RF; impiego dei quarzi negli oscillatori. Oscillatori controllati in tensione (VCO). Cenni sugli oscillatori a resistenza negativa.
- 4.3 Circuiti per la generazione e la demodulazione di oscillazioni sinusoidali modulate (ampiezza, fase, frequenza); i circuiti per la conversione di frequenza (mixer).
- 4.4 Caratteristiche fondamentali e funzionamento dell'anello ad aggancio di fase (PLL).
- 4.5 Cenni sulla struttura di base del ricevitore a conversione di frequenza.

#### *Esercitazioni*

Si svolgono settimanalmente esercitazioni numeriche che consistono in applicazioni e approfondimenti di quanto svolto nelle lezioni.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta seguita da un colloquio.

*Libri consigliati*Milmann, Grabel: *Microelectronics*, McGraw-HillSedra, Smith: *Microelectronic Circuits*, Saunders College PublishingFranchina, Marietti: *Sistemi elettronici a banda frazionale stretta*, MassonPederson, Mayaram: *Analog integrated circuits for communication*, Kuwler Academic PublishersClarke, Hesse: *Communication circuits: analysis and design*, Addison-Wesley**ELETTRONICA II****000863**

(per gli allievi di Ingegneria Elettronica (escluso Bio), Nucleare)

**Prof. Andrea LACAITA***Programma d'esame***Elettronica lineare**

L'Amplificatore Operazionale: Processo bipolare e prestazioni dei componenti integrati. Lo stadio differenziale di ingresso con specchio di corrente prototipo. Errore di specchiamento statico e dinamico. Effetto dello specchio sul trasferimento differenziale e sul trasferimento di modo comune. Specchio di Wilson. Resistenza d'uscita del I stadio. Stabilizzazione in continua della polarizzazione del I stadio mA741. Polarizzazione del II stadio. Risposta in frequenza degli OP-AMP, polo dominante, pole splitting e GBWP. Stadi finali: il push-pull, Crossover distortion e moltiplicatore di  $V_b E$ - Slew Rate. Rapporto tra slew rate e banda. Il JFET integrato e lo stadio di ingresso a JFET. Offset di tensione in stadi di ingresso a bipolari ed a JFET. Correnti di polarizzazione. OP-AMP in tecnologia MOS. Effetto di feed-through sul secondo stadio e suo annullamento.

Il rumore: Introduzione al rumore, varianza e spettro di potenza. Trasferimento dei generatori di rumore. Il rumore termico dei resistori ed il rumore Shot. Il rumore nei BJT, generatori equivalenti e comportamento in frequenza. Il rumore nei FET. Sorgenti di rumore negli OP-AMP. Effetto della reazione sul rumore. Esempio: il rumore nel ricevitore ottico

Elaborazione lineare del segnale: Integratore operazionale. Effetti degli offset. Integratore approssimato. Gated-integrator. Configurazione invertente con carico capacitivo. Metodi di compensazione: reti posticipatrici ed anticipatrici di fase. Configurazione differenziale: Tolleranze delle resistenze e CMRR. Principi di funzionamento dei Filtri attivi. Filtri Butterworth. Celle attive del I e del II ordine, Cella di Sallen-Key, Filtro universale. Simulazione di induttanze. Sintesi di filtri con integratori attivi. Principio di funzionamento dei filtri *switched capacitor (SC)*.

**Elettronica non lineare**

Stadi non lineari e generatori di forme d'onda: Trigger di Schmitt. Monostabile ed Astabile. Oscillatori: Criterio di Barkausen. Oscillatore a ponte di Wien. Stabilità diretta ed indiretta. Metodi di controllo dell'ampiezza di oscillazione. Oscillatori a sfasamento. Oscillatore Colpitts. Oscillatori quarzati. Principio translineare e moltiplicatore a cella di Gilbert. I Mixer. L'amplificatore logaritmico: stabilità e compensazione. VCO. Il PLL analogico.

Elettronica digitale: Margini di rumore e ritardi di commutazione. Commutazione dell'invertitore a BJT. La porta TTL: la caratteristica di trasferimento ed il comportamento intransitorio. Stadi di uscita TTL: three state e open collector. Stadi ECL 10K: derive termiche. Compensazione termica di stadi ECL 10K. Compensazione termica degli stadi ECL 100K e reiezione ai disturbi di alimentazione. Il Band-gap reference. Logiche a rapporto n-MOS: Minimizzazione dell'occupazione di area. Tempi di commutazione. Potenza dissipata statica e dinamica. Carico a depletion. Effetto Body. Logiche CMOS. Occupazione di area e simmetria. Correnti di penetrazione. Il tiristore ed il

latch-up nei CMOS. Gate arrays ed applicazioni ASIC. Flip-Flop JKT, T, Master-Slave. Transfer-gate CMOS. Contatori e Shift Register.

### **Conversione A/D e D/A**

Conversione Analogico-Digitale (ADC): Circuiti Sample-and-Hold, Effetto degli interruttori MOS reali e degli offset. Compromesso accuratezza-banda. ADC alla frequenza di Nyquist: flash, singola e doppia rampa, approssimazioni successive. Errori di offset e di guadagno; linearità integrale e differenziale; monotonicità. Settling-time; tempo di conversione; slew-rate; glitch; feedthrough. Modulazione D, ADC sovracampionati: il ZA.

Conversione Digitale-Analogica (DAC): Generalità: codifica digitale; risoluzione analogica; errore di quantizzazione. Accuratezza. DAC a partizione di corrente, di tensione, di carica.

### *Esercitazioni*

Si svolgono settimanalmente esercitazioni numeriche che consistono in applicazioni e approfondimenti di quanto svolto nelle lezioni.

### *Modalità di Esame*

L'esame consiste in una prova scritta seguita da un colloquio.

### *Testi Consigliati*

A. Lacaia: *Lezioni di Elettronica II* - CUSL Milano

A. S. Sedra, K. C. Smith: *Microelectronic Circuits* - Saunders College Publishing

P. Spirito: *Elettronica dei Sistemi Digitali* - L'Ateneo s.a.s. Napoli

D. A. Hodges, H. G. Jackson: *Analysis and Design of Digital Integrated Circuits* - McGraw-Hill

## **ELETTRONICA III** **Prof. Franco ZAPPA**

**000865**

### *Programma d'esame*

#### **Circuiti e sistemi per l'elaborazione di segnali analogici**

Progetto di stadi con amplificatori operazionali. Amplificazione e filtraggio di segnali da sensori. Linearizzazione delle caratteristiche. Reiezione ai disturbi. Compensazione termica. Controllo programmabile del guadagno. Valutazione della dinamica, della sensitività ai parametri, dipendenza dalla temperatura. Multiplexing di segnali analogici. Circuiti per applicazioni audio e video. Convertitori Analogico-Digitali (ADC) per applicazioni audio: ADC sovracampionati, Sigma-Delta, soppressione dei toni, decimazione, tecniche di autocalibrazione e correzioni digitali.

#### **Circuiti e sistemi per l'elaborazione digitale dei segnali**

Data Signal Processing (DSP): flessibilità e vantaggi dell'elaborazione digitale dei segnali, esempi di tecniche di processamento digitale, realizzazione di algoritmi in ambiente a precisione finita. Architetture dei VLSI-DSP: struttura a blocchi e prestazioni di circuiti commerciali. Sistemi di sviluppo: hardware (lo standard IEEE1149.1) e software (compilatori e simulatori). Architetture di sistemi a multi-processore. Esempi di applicazioni: modellizzazione in tempo reale, filtraggio adattivo, sintesi vocale e musicale, compressione di immagini, visione artificiale. Reti neurali. Mi-crocontrollori: strutture a blocchi (core, memorie, gestione I/O, periferiche), interfacce on-chip per la comunicazione con periferiche esterne, metodologie di programmazione e gestione di interrupt. Accessori per la programmazione e l'emulazione. Esempio di applicazione: interfacciamento con

DSP per la gestione di periferiche esterne. Conversione Digitale-Analogica (DAC): generalità, strutture circuitali, comportamento statico e dinamico. Correzione dell'offset e del guadagno e compensazione termica.

### **Circuiti per la trasmissione e ricezione del segnale**

Modulazione e trasmissione del segnale: generalità. Trasmettitori e ricevitori: schemi a blocchi di trasmettitori per AM, SSB ed FM. Schemi a blocchi di ricevitori: oscillatore locale e frequenza intermedia; eterodina e supereterodina. Prestazioni di circuiti ibridi commerciali: efficienza, consumo, sensibilità, selettività, stabilità. Circuiti di modulazione. Circuiti per la traslazione in frequenza: prodotti di intermodulazione, efficienza di conversione, fattore di rumore, interferenza degli ingressi. Oscillatori: Oscillatori al Quarzo, selettività in frequenza; compensazione termica. Contrailo dell'ampiezza dell'oscillazione. Rumore di fase. Oscillatori controllati in tensione (VCO). Prestazioni di VCO commerciali. Circuiti ad aggancio di fase (PLL): Prestazioni di PLL commerciali. Rivelatore digitale di fase e frequenza. Recupero del clock con PLL. Circuiti monolitici commerciali per generazione del clock e comunicazione seriale sincrona ed asincrona. Amplificatori e ricevitori per fibre ottiche: circuiti a transimpedenza a larga banda, circuiti di pilotaggio di LED e laser a semiconduttori.

**Compatibilità elettromagnetica delle apparecchiature elettroniche**: generalità, compatibilità attiva e passiva, standards e normativa, tecniche di minimizzazione. Filtri di rete, limitatori di scariche elettrostatiche.

*Esercitazioni*: Sono volte ad approfondire, mediante applicazioni numeriche e simulazioni, i circuiti elettronici presentati nel corso, con particolare enfasi all'impiego di circuiti disponibili in commercio.

*Modalità di Esame*: L'esame orale, che verte sugli argomenti sviluppati a lezione ed a esercitazione, può essere preceduto da una prova scritta.

### *Testi Consigliati*

Riferimenti bibliografici precisi verranno forniti agli studenti durante lo svolgimento del corso.

## **ELETTRONICA INDUSTRIALE**

**AV0124****Prof. Vincenzo VAROLI**

### *Programma d'esame*

#### **1) L'amplificatore operazionale:**

definizioni e classificazione; tecnologie costruttive.

#### **2) Limiti degli amplificatori operazionali reali a frequenza zero:**

guadagno finito, corrente ed impedenze d'ingresso, sbilanciamento di tensione, resistenza d'uscita, reiezione di modo comune. Tecniche per ridurre lo sbilanciamento di tensione: amplificatori "chopper stabilized", amplificatori "Commutating Auto Zero", amplificatori autoazzeranti.

#### **3) Comportamento dinamico degli amplificatori operazionali per piccoli e grandi segnali:**

funzioni di trasferimento, stabilità, ad anello chiuso, metodi di compensazione, prodotto guadagno banda passante, limiti alla velocità di risposta per grandi segnali (slew rate), massima frequenza indistorta. Amplificatori a larga banda, reazione di corrente e metodi per ridurre l'errore di fase.

**4) Filtri analogici e digitali:**

risposta ideale e risposta fisicamente realizzabili, metodi di approssimazione trasformazioni di frequenza, filtri "all-pass", trasformata Z, filtri IIR e FIR. Analisi e confronto dei più comuni tipi di filtro (Butterworth, Tchebysheff, Legendre, minimi quadrati, Bessel, Cauer, gaussiani). Tecniche di realizzazione mediante simulazione (giratore, FDNR) e mediante sintesi per celle (VCVS, MF, UAF). Metodi di sintesi di filtri digitali (invarianza della risposta all'impulso e sintesi mediante trasformata di Fourier)

**5) Applicazioni lineari e nonlineari degli amplificatori operazionali in assenza d'interruttori:**

amplificatori per strumentazione, integratori, derivatori, convertitori corrente-tensione e tensione-corrente, simulatori d'impedenza, circuiti di taglio e vincolo, amplificatori a soglia ed a finestra, raddrizzatori, circuiti logaritmici ed antilogaritmici, circuiti per la misura del vero valore efficace.

**6) Conversione digitale-analogica e analogico-digitale:**

definizione, errore di quantizzazione, errore di nonlinearità integrale e differenziale, teorema di campionamento, aliasing.

Principali tecniche di conversione A/D e D/A: a rampa semplice, a doppia rampa, ad approssimazione successive, flash, convertitore tensione frequenza. Circuiti ausiliari per la conversione A/D ("sample & hold")

**7) Elettronica nucleare:**

preamplificatore di carica a basso rumore, amplificatori formatori metodi di calcolo del rapporto segnale-rumore, filtro ottimo, allungatore di picco, circuiti di ripristino della linea di base.

**8) Alimentatori lineari ed a commutazione:**

principali configurazioni (Buck, Boost, Buck-boost, Cuk, SEPIC, celle quadratiche), modi di funzionamento (CCM e DCM) tecniche di controllo (diretto ed indiretto, a frequenza fissa ed a frequenza variabile, compensazione "feed-forward"), interruttori risonanti ZCS e ZVS, metodi di calcolo dello stato stazionario, definizione e metodi di calcolo delle funzioni di trasferimento, analisi della stabilità.

*Esercitazioni e Modalità d'esame*

Durante il corso vengono svolte esercitazioni numeriche e di simulazione con programmi per l'analisi automatica delle reti (SPICE). Prima di sostenere l'esame gli allievi, divisi in squadre, devono svolgere un progetto comprendente anche una parte sperimentale. L'esame consiste in una prova orale in cui verrà discusso il progetto svolto.

*Libri consigliati:*

- P. F. Manfredi, P. Maranesi, T. Tacchi *"L'amplificatore operazionale"* Boringhieri 1978.  
 Y. J. Wong, W. E. Ott *"Function circuits"* McGraw-Hill 1976.  
 J.G. Graeme *"Designing with operational amplifiers"* McGraw-Hill.  
 J.G. Graeme *"Applications of operational amplifiers"* McGraw-Hill.  
 H.J. Blinichoff, A.I. Zverev *"Filtering in the Time and Frequency Domain"* John Wiley & Sons 1976.  
 J. A. Cadzow, H. R. Martens *"Discrete time and computer control systems"* Prentice-Hall 1970.  
 A. I. Zverev *"Handbook of filter synthesis"* John Wiley and Sons.  
 N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins *"Power Electronics"* John Wiley & Sons 1989.  
 Paul A. Lynn, Wolfgang Fuerst *"Introductory digital signal processing"* John Wiley & Sons 1994

**ELETTRONICA INDUSTRIALE DI POTENZA****AH0109****Prof. Antonino DI GERLANDO***Programma d'esame***1) Le valvole e l'effetto valvolare.**

Elementi aventi due stati di funzionamento (conduzione e blocco). Principi generali di funzionamento dei circuiti realizzati con tali elementi. Elementi fisici: le valvole semplici e comandate. Sviluppo storico delle valvole: tubi a vuoto; tubi a gas; valvole a vapori di mercurio monoanodiche e polianodiche. Valvole a semiconduttori.

**2) Valvole al silicio - Caratteristiche generali e prestazioni in stato di conduzione e di blocco.**

La giunzione P-N. Diodi e loro caratteristiche dirette e inverse. Tiristori: costituzione, funzionamento in commutazione; caratteristiche dirette, inverse e di comando. Triac; tiristori comandati all'apertura (GTO). Transistori bipolari; MOSFET; IGBT. Cenni sui nuovi sviluppi in corso.

**3) Comportamento termico e raffreddamento.**

Struttura fisica delle valvole di potenza. Comportamento termico. Impedenza termica. Funzionamento adiabatico. Sistemi a due costanti di tempo. Raffreddamento ad aria e a liquido. Proporzionamento termico a regime e in transitorio. Funzionamento di valvole in serie ed in parallelo. Protezione dalle sovracorrenti e dalle sovratensioni. Fusibili e smorzatori.

**4) Il circuito a semplice semionda.**

Funzionamento su diversi tipi di carico senza e con parzializzazione; analisi delle forme d'onda di tensione e di corrente sui vari componenti; variazione delle tensione e della corrente sul carico al variare del ritardo alla accensione.

**5) Circuiti monofasi ad onda intera.**

Circuito a doppia semionda a presa centrale. Circuito a ponte monofase. Funzionamento su diversi tipi di carico. Modo di funzionamento con corrente lato c.c. pulsante e con corrente lato c.c. continua.

**6) Generalizzazione dei principi della conversione c.a. - c.c. (circuiti commutati dalla rete).**

Carichi ed utilizzazioni in corrente continua. Ipotesi semplificative fondamentali per lo studio dei circuiti. Tensione raddrizzata media a vuoto. Corrente di valvola media ed efficace. Controllo di fase.

**7) Circuiti di raddrizzamento polifasi senza e con controllo di fase.**

Circuiti a stella semplice. Circuiti a doppia stella con trasformatore interfascico. Circuiti a ponte trifase. Dimensionamento del trasformatore e della linea di alimentazione. Circuito dodecafase; circuiti con più di dodici fasi.

**8) La commutazione.**

Il fenomeno della commutazione: reattanza di commutazione; caduta di tensione induttiva; caduta resistiva e totale. Commutazione regolare: i modi di funzionamento al crescere dell'angolo di commutazione, con particolare riferimento al circuito a ponte trifase.

**9) Approfondimento sul controllo di fase.**

Funzionamento come raddrizzatore e come ondulatore. Circuiti commutati dal carico. Corrente lato c.a.: potenza attiva, reattiva, apparente, fattore di potenza, fattore di distorsione. Funzionamento su due quadranti. Funzionamento su quattro quadranti. Metodi per evitare o limitare le correnti di circolazione nei convertitori bidirezionali: reattanza limitatrice; blocco degli impulsi.

**10) Armoniche.**

Metodo generale per il calcolo delle armoniche. Armoniche nella corrente di linea e nella tensione raddrizzata. Effetto della durata della commutazione sulla ampiezza delle armoniche.

**11) I circuiti autocommutati (commutazione forzata).**

Generalità sui circuiti autocommutati. Richiamo delle caratteristiche generali e prestazioni dei componenti impiegati nei circuiti autocommutati.

**12) Conversione c.c. - c.c.**

Il funzionamento del frazionatore. Funzionamento su carico resistivo ed induttivo; ondulazione di corrente sul lato c.c. Frazionatore elevatore. Dimensionamento dei componenti. Schemi reversibili di frazionatore funzionante su due e su quattro quadranti. Principio di funzionamento di circuiti ausiliari per lo spegnimento forzato di tiristori (riferimento ad un circuito esemplificativo). Il convertitore c.c.-c.c. di Chuke.

**13) Conversione c.c. - c.a. monofase.**

Invertitore a tensione impressa con alimentazione a presa centrale: principio di funzionamento su vari tipi di carico. Invertitore monofase a ponte; dimensionamento dei componenti. Possibilità di generare forme d'onda complesse.

**14) La gestione della forma d'onda della tensione generata e della sua ampiezza.**

Onda rettangolare, quasi rettangolare, impulsi a larghezza modulata. Modalità di realizzazione di circuiti a impulsi con larghezza modulata: il metodo per confronto di forme d'onda (sinusoide con onda triangolare); il metodo degli angoli memorizzati. Calcolo della ampiezza delle armoniche e progetto dei circuiti di filtro eventualmente necessari.

**15) Altri tipi di invertitori monofasi.**

Circuito a corrente impressa: principio di funzionamento e dimensionamento dei componenti principali. Circuiti a commutazione per sottooscillazione: alcuni esempi.

**16) Invertitori trifasi.**

Configurazioni circuitali: circuiti costituiti da tre invertitori monofasi; circuiti a ponte trifase. Forme d'onda. Dimensionamento dei componenti.

**17) Caratteristiche dinamiche dei componenti usati nei circuiti a commutazione forzata.**

Tempi di ritardo, di salita, di discesa; tempo di ripristino dello stato di blocco; valori limite del gradiente di corrente e di tensione; valori limite della tensione e della corrente commutabile; calcolo della potenza dissipata durante la commutazione. Provvedimenti atti a limitare la potenza dissipata durante la commutazione: i circuiti smorzatori.

**18) Convertitori c.a. - c.a. isofrequenziali.**

Controllori monofasi: principi di funzionamento; valore medio ed efficace della tensione e della corrente applicata al carico; impieghi principali. Controllori trifasi: principali inserzioni dei circuiti; metodi di analisi; esemplificazione.

**19) Convertitori c.a. - c.a. a frequenza diversa.**

Il cicloconvertitore: funzionamento e utilizzazioni.

**20) I componenti elettromagnetici.**

Principi di conversione elettromeccanica. Struttura ed equazioni della macchina asincrona trifase: auto e mutue induttanze; la matrice di trasformazione; trasformazione delle variabili di statore e di rotore; nuove equazioni sugli assi d,q; struttura del modello dinamico della macchina asincrona; circuito equivalente dinamico. Macchina sincrona trifase: struttura ed equazioni; auto e mutue induttanze, la matrice di trasformazione di Park; nuove equazioni sugli assi d,q; equazioni in forma complessa; l'angolo di carico della macchina sincrona; funzionamento a regime; reattanze sincrone diretta ed in quadratura.

*Esercitazioni*

Sono previste esercitazioni di tipo numerico-grafico, (alcune delle quali da effettuare con l'ausilio di Personal Computer) ed esercitazioni sperimentali. Le esercitazioni numerico-grafiche verranno effettuate in aula ed in sala calcolatori; quelle sperimentali in laboratorio.

Di ogni esercitazione deve essere compilata una relazione, da sottoporre alla firma del professore. Tutte le relazioni delle esercitazioni possono essere consegnate per la correzione in qualsiasi momento, ma almeno 15 giorni prima dell'esame. Per l'ammissione all'esame occorre aver svolto in modo soddisfacente tutte le esercitazioni.

L'elenco delle esercitazioni è esposto all'albo del Dipartimento di Elettrotecnica.

#### *Libri consigliati*

A. Crepaz: *Conversione statica dell'energia elettrica: conversione c.a.-c.c.* Editore CLUP

E. Tironi: *Conversione statica dell'energia elettrica: conversione c.a.-c.a.* Editore CUSL

G. Marchegiani: *Conversione statica dell'energia elettrica: conversione c.c.-c.c. e c.c.-c.a.* Editore CUSL

E. Chiesa: *I Convertitori a commutazione forzata.* Editore CUSL

N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins: *Power Electronics: Converters, Applications and Design.* Editore Wiley & Sons 2<sup>a</sup> Ed.

B. K. Bose: *Power Electronics and A.C. Drives.* Editore Prentice-Hall.

## **ELETTRONICA QUANTISTICA**

**AT0001**

**Prof. Orazio SVELTO**

#### *Programma d'esame*

##### **Sorgenti laser.**

Concetti introduttivi: Emissione spontanea, stimolata ed assorbimento; l'idea del Laser; schemi di pompaggio; proprietà del fascio laser.

Interazione della radiazione con la materia: Richiami sulla teoria del corpo nero; assorbimento ed emissione stimolata; emissione spontanea; decadimento non radiativo; saturazione; decadimento di un sistema a molti atomi; sistemi molecolari.

Processi di pompaggio: Pompaggio ottico e pompaggio elettrico.

Risonatori ottici passivi: Formulazione matriciale dell'ottica geometrica; l'interferometro di Fabry-Perot; multistrati dielettrici; vita media dei fotoni in cavità; risonatore confocale; propagazione di fasci gaussiani; risonatore generico a specchi sferici; risonatori instabili.

Comportamento in continua e in transitorio: Equazioni di bilancio; comportamento continuo (soluzioni stazionarie, accoppiamento ottimo, accordabilità in lunghezza d'onda, oscillazione singolo modo e multimodo, limite di monocromaticità); comportamento in transitorio (oscillazione di rilassamento, Q-switching, mode-locking).

Tipi di laser: a neodimio, a Elio-Neon, ad Argon, a CO<sub>2</sub>, ad eccimeri, a colorante organico, chimici.

Proprietà di un fascio laser: Monocromaticità; proprietà statistiche della luce laser e della luce termica; coerenza spaziale e temporale; direzionalità; brillantezza; paragone fra luce laser e luce termica.

##### **Applicazioni.**

Comunicazioni su fibra ottica: (a) Laser a semiconduttore: Proprietà fotofisiche dei semiconduttori; laser a omogiunzione e doppia eterogiunzione; caratteristiche e applicazioni. (b) Fibre ottiche: Tipi di fibre ottiche; teoria geometrica della propagazione guidata; fibre monomodali e multimodali; calcoli dei modi in una fibra ottica; attenuazione; dispersione.

#### *Libri consigliati*

O. Svelto: *Principles of Lasers*, third edition, Plenum Press, New York, 1989.

O. Svelto: *Fisica delle Fibre Ottiche*, Appunti, Gennaio 1993

**ELETTROTECNICA****000001**

(per gli allievi di Ingegneria Aeronautica e di Ingegneria Ambientale)

**Prof. Cesare Mario ARTURI***Programma d'esame*

- Definizione delle grandezze elettriche e loro unità di misura. Convenzioni di segno e di misura delle grandezze elettriche. Voltmetro, amperometro, wattmetro e loro inserzione.
- Classificazione energetica dei componenti elettrici. Dissipazione, accumulo, conversione. Resistori, induttori, condensatori. Generatori ideali di tensione e di corrente. Caratteristiche dei bipoli (lineari e non lineari). Legge di Ohm. Caratterizzazione controllata in corrente o in tensione. Forme differenziali ed integrali delle equazioni costitutive per l'induttore ed il condensatore. Parametri caratteristici. Resistenza, conduttanza. Induttanza, elastanza induttiva. Capacità, elastanza capacitiva. Lavoro scambiato. Calore generato. Energia elettrica e magnetica accumulata. Interpretazione grafica dell'energia accumulata.
- Reti elettriche. Lato, nodo, maglia. Leggi di Kirchhoff ai nodi ed alle maglie. Reti di bipoli. Collegamento in serie ed in parallelo. Partitori di tensione e di corrente. Circuiti equivalenti. Metodi di analisi semplificati: riduzioni successive, sovrapposizione degli effetti, teoremi di Thevenin e Norton. Criterio della massima potenza scambiata. Tripoli e doppi bipoli resistivi. Caratterizzazione controllata con variabili omogenee o miste. Matrici caratteristiche resistive, conduttive o ibride dei parametri. Determinazione operativa dei parametri. Circuiti equivalenti a stella o a triangolo. Generatori pilotati come casi particolari di doppi bipoli resistivi. Trasformatore ideale resistivo. Giratore. Transistore: equazioni costitutive e relativi modelli circuitali. Amplificatore operazionale: equazioni costitutive e relativi modelli circuitali.
- Metodi generali di analisi delle reti resistive. Elementi di teoria dei grafi. Grafo orientato. Albero e coalbero. Metodo della matrice sparsa. Tensioni indipendenti e correnti indipendenti di una rete. Analisi ai nodi ed alle maglie indipendenti. Matrici d'incidenza nei nodi e nelle maglie indipendenti.
- Transitori di reti RL ed RC del primo ordine. Transitorio RLC del secondo ordine.
- Regime alternato sinusoidale. Caratteristiche delle grandezze sinusoidali. Fasori e corrispondenza con le grandezze sinusoidali. Algebra dei fasori. Caratterizzazione dei bipoli elementari nel dominio del tempo e dei fasori. Potenza istantanea. Potenza media. Energia accumulata negli elementi conservativi in regime sinusoidale. Resistenza, conduttanza. Reattanza, suscettanza. Impedenza, ammettenza. Potenza apparente complessa. Potenza attiva e potenza reattiva. Bipolo RLC in regime sinusoidale. Parametri equivalenti serie e parallelo. Compensazione parziale o totale della potenza istantanea nei bipoli conservativi. Estensione delle leggi Kirchhoff al regime alternato sinusoidale. Partitore di tensione e di corrente. Trasformazione stella-triangolo. Estensione dei metodi di analisi semplificati e generali alle reti in regime alternato sinusoidale. Metodo di Boucherot. Rifasamento di un carico industriale. Risonanza: diagrammi polari.
- Mutuo induttore. Energetica del mutuo induttore. Equazioni di stato controllate in corrente. Definizione operativa dei coefficienti d'induttanza mediante funzionamento a vuoto. Espressione dell'energia e discussione della forma quadratica. Coefficiente di accoppiamento. Collegamento in serie equiverso e controverso. Equazioni costitutive controllate in flusso concatenato. Definizione operativa dei coefficienti di elastanza mediante funzionamento in corto-circuito. Espressione dell'energia e discussione della forma quadratica. Collegamento in parallelo equiverso e controverso. Equazioni costitutive di tipo ibrido. Definizione operativa dei parametri della forma ibrida. Espressione dell'energia della forma ibrida. Reti equivalenti. Trasformatore ideale induttivo. Equazioni del mutuo induttore in regime alternato sinusoidale.
- Sistemi trifasi: proprietà, tensioni e correnti di fase e di linea. Sistemi simmetrici, dissimmetrici, equilibrati, squilibrati a 3 ed a 4 fili. Regime periodico non sinusoidale.

- Campo di conduzione. Densità di corrente, campo elettrico, conducibilità. Leggi del campo. Perdite specifiche. Superfici equipotenziali e linee di forza. Grandezze integrali: tensione, corrente, resistenza, conduttanza, calore generato. Proprietà dei materiali conduttori e dipendenza della resistività dalla temperatura.
- Campo elettrostatico. Induzione dielettrica, campo elettrico, permittività. Leggi del campo. Energia specifica. Superfici equipotenziali e linee di forza. Grandezze integrali: tensione, flusso dielettrico, capacità, elastanza, energia. Proprietà dei materiali isolanti. Azioni meccaniche.
- Campi e circuiti magnetici. Induzione magnetica e campo magnetico, permeabilità. Leggi del campo. Energia specifica. Superfici equipotenziali e linee di forza. Grandezze integrali: potenziale magnetico scalare e tensione magnetica, flusso magnetico, riluttanza, permeanza, energia. Proprietà dei materiali magnetici. Cicli d'isteresi e perdite relative. Perdite per correnti parassite. Cifra di perdita. Azioni meccaniche. Generatore ideale di tensione e di flusso magnetico. Caratteristiche dei bipoli magnetici (lineari e non lineari). Equazione costitutiva. Legge ai nodi ed alle maglie dei circuiti magnetici. Estensione alle reti magnetiche dei metodi di analisi delle reti. Calcolo di auto e mutua induttanza in presenza di circuiti ferromagnetici. Magneti permanenti e circuito equivalente.
- Trasformatore monofase e trifase. Generalità costruttive. Circuito equivalente. Autotrasformatore.
- Energetica della conversione elettromeccanica. Ciclo di lavoro di un convertitore elementare. Azioni meccaniche. Funzionamento come generatore o motore elettrico. Caratteristiche costruttive di convertitori elettromeccanici rotanti. Convertitore con una sola sorgente di campo magnetico. Convertitore con due sorgenti di campo magnetico. Macchina a corrente continua. Macchina sincrona. Macchina asincrona.
- Condizioni di pericolo per le persone negli impianti utilizzatori e dispositivi di protezione.

#### *Esercitazioni*

Saranno svolte esercitazioni numeriche settimanali.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

#### *Libri consigliati*

Desoer, Kuh: *Fondamenti di teoria dei circuiti* - Angeli Editore.

E. Bottani, R. Sartori: *Appunti di Elettrotecnica* - Voi. I e II, Tamburini Editore - Milano.

Manigrasso-Petrecca: *Elettrotecnica Industriale* Ed. CLUP.

W.H.Hayt, Jr.J.E. Kemmerly: *Engineering Circuit Analysis* International Student Edition.

F. Fiorio, I. Gorini, A.R. Meo: *Appunti di Elettrotecnica*, Voi I, Ed. Levrotto e Bella^ Torino.

L. Chua, C. Desoer, E. Kuh: *Linear and Nonlinear Circuits*, Ed. Me Graw-Hill

(in italiano: *Circuiti lineari e non lineari*, Ed. Jakson).

V. Daniele, A. Liberatore, R. Graglia, S. Manetti: *Elettrotecnica*, Monduzzi Editore Bologna.

M. D'Amore : *Elementi di Elettrotecnica - Campi e Circuiti* - Ed. Siderea - Roma

S. Bobbio: *Esercizi di Elettrotecnica*, CUEN

A. Laurentini, A.R. Meo, R. Pomè: *Esercizi di Elettrotecnica*, Ed. Levrotto e Bella, Torino.

A. Porro: *Esercizi e temi d'esame di elettrotecnica*, Ed. Citta Studi - Milano.

**ELETTROTECNICA****000001**

(per gli allievi di Ingegneria Biomedica ed Elettronica)

**Prof. Amedeo PREMOLI***Programma d'esame*

**1 - Topologia.** Bigrafi, bipoli e multipoli. Tensione, corrente e leggi di Kirchhoff. Potenza e lavoro virtuale. Grafi, grafi planari, alberi, coalberi, basi di maglie e tagli. Formulazioni matriciali delle leggi di Kirchhoff e teorema di Tellegen.

**2 - Relazioni costitutive dei componenti.** Componenti adinamici e dinamici, tempo-invarianti e tempo-varianti, lineari e nonlineari. Corto circuito, circuito aperto, nullatore e noratore. Porta propria e impropria. Doppi bipoli unidirezionali e simmetrici. Analisi di circuiti e componenti composti. Aggregazioni di componenti. Potenza e lavoro effettivi.

**3 - Componenti adinamici, tempo-invarianti e lineari.** Componenti omogenei e impressivi. Componenti dissipativi, attivi, inerti. Sorgenti impressi ve, resistore. Reciprocità. Primo teorema di equivalenza. Doppi bipoli, nullore, sorgenti pilotate, trasformatori ideali e giratori.

**4 - Metodi di analisi.** Il metodo totale di analisi. Circuiti patologici. Il principio di sovrapposizione. Analisi dei componenti adinamici composti. Altri teoremi di equivalenza, teoremi di Thevenin e Norton. Metodi diretti e modificati dei nodi, delle maglie e degli anelli. Connessioni serie e parallelo. Partitori e ponti resistivi. Teoremi di Millman. Metodo della falsa posizione. Sorgenti nonideali. Tripoli a stella e a triangolo. Aggregazioni di bipoli e di doppi bipoli. Teoremi di Miller.

**5 - Componenti e circuiti dinamici e tempo-varianti.** Sorgenti impulsive tempo-varianti, interruttore ideale. Cisoidi, impulsi nonideali, delta di Dirac. Condensatori, induttori e induttori accoppiati. Circuiti dinamici e lineari. Metodo dei componenti complementari. Circuiti nondegeneri e degeneri. Equazioni di stato e uscita. Soluzione dei circuiti omogenei. Autovalori e frequenze naturali. Soluzioni similari. Stabilità. Circuiti dinamici di primo e secondo ordine.

**6 - Pseudoregime cisoidale e regime sinusoidale.** Fasori. Impedenza, ammettenza e matrici dei doppi bipoli. Estensione di regole, proprietà e metodi dei circuiti adinamici lineari. Funzioni di rete, zeri, poli. Potenza istantanea, potenza attiva, potenza complessa, potenza reattiva. Teoremi delle potenze. Diagramma polare, ampiezza, fase, normalizzazione. Condensatori, induttori e risonatori quasi-conservativi. Partitori e ponti dinamici.

**7 - Generazione, trasmissione e utilizzazione dell'energia.** Linee monofase e trifase, rendimento, rifasamento. Circuiti magnetici. Le leggi di Kirchhoff e la legge di Hopkinson. Traferro. Materiali ferromagnetici, correnti parassite e isteresi. Trasformatore, circuito equivalente. Campo magnetico rotante, motore asincrono. Macchine in continua, collettore a lamelle, eccitazioni.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni sono rivolte alla soluzione di esercizi scelti con lo scopo sia di approfondire la padronanza dei concetti teorici sia di prendere conoscenza di problemi di interesse pratico.

*Modalità d'esame*

L'esame consta in una prova scritta e orale.

*Libri di testo consigliati*

L. O. Chua, C. A. Desoer, E. S. Kuh : *Linear and Nonlinear Circuits*, McGraw-Hill, New York, 1987.  
Martinelli, M. Salerno: *Fondamenti di Elettrotecnica : Circuiti a Costanti Concentrate Lineari e Permanenti*, Siderea, Roma, 2 volumi.

Sono inoltre disponibili appunti del Docente.

*Libri di esercizi consigliati*

M. Biey : *Esercitazioni di Elettrotecnica*, CLUT, Torino, 1988.

A. Nasar : *3000 solved problems in electric circuits* Schaum's solved problems series, McGraw-Hill, New York, 1988.

J. O'Malley : *Basic Circuit Analysis* Schaum's Outline Series, McGraw-Hill, New York, 1992, 3rd edition,

AA. W. *The Electric Circuits Problem Solver* Research and Education Association (REA), New York, 1987.

**ELETTROTECNICA****000001**

(per gli allievi di Ingegneria Chimica, dei Materiali e Nucleare)

**Prof. Gabrio SUPERTI FURGA***Programma d'esame*

**1. Grandezze elettriche fondamentali.** Cariche elettriche, corrente elettrica, legge di Kirchhoff delle correnti. Tensione elettrica e ddp, forza elettromotrice, legge di Kirchhoff delle tensioni. Lavoro e potenza. Unità di misura, voltmetro e amperometro ideali.

**2. Campo di conduzione.** Campo di conduzione, resistività, tubo di flusso, resistenza elettrica, proprietà dei materiali conduttori. Modello circuitale del campo di conduzione.

**3. Reti elettriche in regime stazionario.** Bipoli resistivi. Legame costitutivo. Bipoli lineari e non lineari, tempo-varianti. Composizioni serie e parallelo. Elaborazioni grafiche delle caratteristiche. Generatori ideali. Metodi elementari di soluzione. Teorema di Tellegen. Potenza. Equivalenti serie e parallelo. Linearità e sovrapposizione. Doppio bipoli. Generatori di tensione e di corrente pilotati. Trasformatore ideale. Giratore.

**4. Campo elettrico.** Costante dielettrica. Tubo di flusso. Capacità. Bipolo condensatore. Legame costitutivo. Energia. Capacità mutue. Reti di condensatori.

**5. Campi e circuiti magnetici.** Campo magnetico, permeabilità, tubo di flusso, riluttanza, forza magnetomotrice. Materiali ferromagnetici, saturazione, isteresi. Circuiti magnetici lineari e non lineari. Energia. Accoppiamenti tra circuiti elettrici e magnetici. Equivalenti elettrici di circuiti magnetici. Circuiti equivalenti di mutui induttori. Legge dell'induzione elettromagnetica, flusso concatenato, induttanza, bipolo induttore. Legame costitutivo. Circuiti accoppiati, coefficienti di auto e di mutua induzione, doppio bipolo mutuo induttore. Energia. Reti di induttori.

**6. Azioni meccaniche.** Energia e azioni meccaniche del campo elettrico, formulazioni con i lavori virtuali. Energia e azioni meccaniche del campo magnetico, formulazioni con i lavori virtuali. Forza su conduttore in moto. Macchina elementare.

**7. Transitori.** Formulazione della equazione differenziale. Transitori del primo ordine. Metodi elementari di soluzione.

**8. Regime sinusoidale.** Sinusoidi, valori efficaci, fasori. Bipoli fondamentali in regime sinusoidale. Impedenze, ammettenze. Potenze in regime sinusoidale, istantanea, attiva, reattiva, apparente. Strumenti di misura in c.a. Teoremi fondamentali e analisi di rete con i fasori. Risposta in frequenza, risonanza. Teorema di Boucherot. Rifasamento. Regime periodico non sinusoidale, valori efficaci, potenze.

**9. Proprietà generali delle reti algebriche.** Bipoli attivi e passivi con legami costitutivi algebrici. Bipoli elementari. Definizioni formali di tensione e corrente. Formulazioni di rete a generatori interni ed esterni. Risolubilità e unicità della soluzione. Maglie e nodi indipendenti. Linearità e sovrapposizione. Equivalenti di Thevenin e Norton. Tensioni e correnti indipendenti. Matrici topolo-

giche. Analisi matriciale ai nodi e agli anelli. Auto e mutue impedenze. Reciprocità. Doppi bipoli, modelli e proprietà, relazioni costitutive matriciali, circuiti equivalenti. Circuiti equivalenti del mutuo induttore.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni sono costituite da applicazioni numeriche relative ad argomenti del corso.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta e una prova orale da sostenersi nel medesimo appello.

#### *Libri consigliati*

V. Daniele, A. Liberatore, R. Graglia, S. Manetti: *Elettrotecnica*. Monduzzi Editore.  
 F. Fiorio, I. Gorini, A.R. Meo: *Appunti di Elettrotecnica*, voi. I, Ed. Levrotto e Bella, Torino.  
 C. Desoer, E. Kuh: *Fondamenti di teoria dei circuiti* Franco Angeli Editore.  
 L. Chua, C. Desoer, E. Kuh: *Circuiti lineari e non lineari*. Jackson Ed.  
 R. Manigrasso, G. Petrecca: *Elettrotecnica industriale*. CLUP.  
 S. Bobbio: *Esercizi di elettrotecnica*. CUEN, Napoli.

## **ELETTROTECNICA**

**000001**

(per gli allievi di Ingegneria Informatica)

**Prof. Vito AMOIA**

#### *Programma d'esame*

**1) Reti elettriche in regime stazionario.** Introduzione. Le grandezze elettriche: tensione, corrente, lavoro, potenza. Leggi delle tensioni e delle correnti. Bipoli: convenzioni di segno, caratteristiche, circuiti equivalenti. Energetica di un bipolo. Reti di bipoli: collegamenti serie-parallelo, metodo di riduzioni successive, risoluzione grafica. Metodi generali, elementi di teoria dei grafi e matrici topologiche, metodo dei potenziali e delle correnti cicliche. Teoremi delle reti: Thevenin-Norton, sovrapposizione degli effetti, Tellegen. Principio di conservazione dell'energia, trasformazione stella-triangolo. Doppi bipoli: definizioni e proprietà. Formulazioni serie, parallelo e ibride. Generatori comandati. Analisi per piccoli segnali di circuiti non-lineari.

**2) Reti elettriche in transitorio e a regime.** Classificazioni e rilievo delle grandezze elettriche variabili. Condensatori: caratteristiche, energia elettrica. Induttori: caratteristiche, induttori mutuamente accoppiati, energia magnetica. Circuiti del I ordine: RC e RL. Circuiti del II ordine. Comportamento in transitorio e a regime. Reti di bipoli: metodi generali di analisi.

**3) Reti elettriche in regime alternato sinusoidale.** Rappresentazione di una sinusoide mediante un numero complesso: metodo dei fasori per lo studio a regime. Impedenza e ammettenza. Circuiti equivalenti. Metodi di analisi. Diagrammi vettoriali. Potenza. Fenomeno della risonanza. Funzioni di rete, risposta in frequenza. Teorema di Boucherot. Massimo trasferimento di potenza. Cenni allo studio di circuiti lineari in regime periodico.

**4) Grandezze specifiche. Proprietà dei materiali. Campi.** Campi di conduzione: grandezze specifiche, resistività. Campi dielettrici: grandezze specifiche, permittività. Corrente dielettrica e corrente totale. Campi magnetici: grandezze specifiche, permeabilità. Materiali ferromagnetici: saturazione, isteresi. Circuiti magnetici.

**5) Induzione elettromagnetica.** Legge generale dell'induzione elettromagnetica. Esempi di calcolo di f.e.m. indotte.

**6) Azioni meccaniche.** Azioni meccaniche tra le armature di un condensatore. Azioni meccaniche nei campi magnetici.

**7) Considerazioni generali e principi di funzionamento degli apparati elettrici.** Problemi termici e cenni ad altri problemi di dimensionamento. Principi generali della trasduzione elettromeccanica. La macchina omopolare. Principio di funzionamento del trasformatore. Principio di funzionamento della macchina sincrona. Principio di funzionamento della macchina asincrona. Principio di funzionamento della macchina a corrente continua.

#### *Esercitazioni*

Saranno svolte esercitazioni, seminari e conferenze: le norme saranno esposte all'albo del Dipartimento di Elettronica ed Informazione.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta in una prova scritta e orale.

#### *Libri consigliati*

Bottani e Sartori, *Elettrotecnica*, voi. I, Ed. Tamburini.

Bottani e Sartori, *Appunti di Elettrotecnica*, Parte II, Ed. Tamburini.

L. Chua, C.A. Desoer, E.S. Kuh, *Circuiti lineari e non lineari*, Ed. Jackson (traduz. ital.). (Tale testo è consigliato anche per il corso di Teoria delle reti elettriche).

G. Ghione, *Appunti di Elettrotecnica* Ed. CUSL

Tra quelli sopraelencati, ciascun Docente indicherà i testi di riferimento per la propria sezione.

## **ELETTROTECNICA**

**000001**

(per gli allievi di Ingegneria Meccanica)

**Proff. Edoardo CARMINATI, Adriano MORANDO**

#### *Programma d'esame*

##### **Generalità:**

Richiami alle unità di misura Elettriche. Strumenti di misura: caratteristiche e modalità di inserzione.

##### **Resistori:**

Materiali conduttori: caratteristiche e proprietà. La resistenza elettrica. Dipendenza della resistenza dalla temperatura. Resistori lineari e non lineari. Legge di Joule. Resistori in serie e in parallelo. Determinazione del valore di resistenza con metodi industriali e di laboratorio. Transitorio termico. Dimensionamento termico di un resistore.

##### **Generatori:**

Generatori di tensione e di corrente: caratteristica elettrica, potenza generata, perdite, rendimento. Generatori in serie ed in parallelo. Partitori di tensione e di corrente.

##### **Circuiti a corrente continua:**

Convenzione dei bipoli. Legge di Ohm. Reti lineari: equazioni ai nodi, equazioni alle maglie. Principio di sovrapposizione degli effetti, principio di reciprocità. Principio del generatore equivalente di tensione e di corrente. Trasformazione stella-triangolo delle resistenze. Risoluzione delle reti non lineari.

**Condensatori:**

Materiali dielettrici: caratteristiche e proprietà. Condensatori: capacità e costante dielettrica. Condensatori ad armature piane e cilindriche. Transitorio di carica e di scarica di un circuito RC. Energia immagazzinata in un condensatore. Condensatori in serie ed in parallelo.

**La corrente ed il corpo umano:**

La resistenza del corpo umano. Effetti della corrente sul corpo umano. Contatti diretti ed indiretti. Protezioni contro i contatti accidentali.

**Corrente elettrica e campo magnetico:**

Campo magnetico prodotto dalla corrente nei conduttori. Flusso concatenato. Auto e mutua induttanza.

F.e.m. indotta in una spira immersa in un campo magnetico. Legge generale dell'induzione.

Sforzi elettrodinamici fra conduttori. Dimensionamento di un elettromagnete. Strumenti elettrodinamici.

**Induttori:**

Induttori lineari. Transitorio di un circuito RL. Energia immagazzinata in un induttore.

Legge di Ohm per i circuiti magnetici. Induttori in serie ed in parallelo. Circuiti magnetici lineari. Circuiti magnetici non lineari.

**Materiali ferromagnetici:**

Isteresi magnetica. Caratteristica di magnetizzazione normale. Energia di magnetizzazione. Perdite per isteresi magnetica, perdite per correnti parassite. Cifra di perdita.

**Sistemi in regime periodico:**

Valore medio e valore efficace. Grandezze alternate sinusoidali. Rappresentazione vettoriale. Operazioni sulle grandezze sinusoidali. Comportamento dei bipoli in regime alternato sinusoidale. Potenza attiva e reattiva. Risonanza serie e parallelo. Misura delle grandezze alternate sinusoidali.

**Sistemi polifasi:**

Sistemi trifasi simmetrici e dissimmetrici. Collegamento a stella e a triangolo. Potenza attiva e reattiva nei sistemi trifasi. Misura della potenza attiva nei sistemi trifasi.

**Produzione e trasporto di Energia:**

Trasmissione dell'energia elettrica. Convenienza economica nel trasporto di energia: confronto fra il trasporto in continua ed in alternata monofase e trifase. Il problema del rifasamento.

**Trasformatori:**

Trasformatore monofase: circuito magnetico, avvolgimenti, raffreddamento. Funzionamento a vuoto: circuito equivalente. Diagramma vettoriale. Funzionamento a carico e in corto circuito: circuiti equivalenti e diagrammi vettoriali. Impedenza di corto circuito. Parallelo di trasformatori monofasi. Autotrasformatori. Trasformatori di misura. Trasformatore differenziale. Trasformatori trifasi: caratteristiche costruttive e di funzionamento. Indici orari.

**Macchine asincrone:**

Caratteristiche costruttive. Campo magnetico rotante. Circuito equivalente della macchina asincrona. Diagramma circolare. Caratteristica meccanica. Avviamento della macchina asincrona. Macchina asincrona monofase.

**Macchine sincrone:**

Caratteristiche costruttive. Funzionamento a vuoto e a carico. Diagrammi di funzionamento. Parallelo delle macchine sincrone.

**Macchine in corrente continua:**

Caratteristiche costruttive. Funzionamento a vuoto e a carico: diagrammi delle grandezze magnetiche al traferro. Fenomeno dello scintillamento. Eccitazione delle macchine in corrente continua.

Macchine eccitate in derivazione: caratteristiche elettriche, caratteristiche elettromeccaniche.

Macchine eccitate in serie: caratteristiche elettromeccaniche.

**Macchine speciali:**

Motori a corrente continua a magneti permanenti. Applicazioni. Motori a passo: caratteristiche costruttive. Caratteristica meccanica. Applicazioni.

**Azionamenti:**

Impostazione generale del problema: regolazione ad anello aperto e ad anello chiuso.

Macchine in corrente continua: dispositivi statici di raddrizzamento. Ponte semicontrollato e total-controllato.

Macchine in corrente alternata: convertitori di frequenza. Tecnica PAM. Tecnica PWM.

Motori a passo: logica di controllo e alimentatori.

*Esercitazioni*

Saranno svolte esercitazioni numeriche sull'analisi delle reti e sulla soluzione di problemi relativi al programma in corso.

*Modalità d'esame*

L'esame consta in una prova scritta e di un colloquio.

*Libri consigliati*

Bottani e Sartori: *Elettrotecnica*, Voi. I e II ed. Tamburini-Masson.

E. Carminati: *Elettrotecnica circuitale: modelli e componenti*, ed. Esculapio, Bologna.

E. Carminati: *Materiali e Macchine Elettriche*, ed. Esculapio, Bologna.

C.A. Desoer, E.S. Kuh: *Fondamenti di Teoria dei Circuiti*, F. Angeli, Milano.

V. del Toro: *Electric Machines and Power Systems*, Prentice-Hall

B.K. Bose: *Power Electronics and AC Drives*, Prentice-Hall.

**ELETTROTECNICA****000001**

(per gli allievi di Ingegneria delle Telecomunicazioni)

**Prof. Giovanni GHIONE**

*Programma d'esame*

Richiami di elettrostatica. Grandezze elettriche fondamentali: tensione, corrente. Bipoli e loro caratteristiche elettriche; convenzioni di segno. Lavoro, energia, potenza in un campo elettrico. Potenza assorbita da un bipolo. Legge di Kirchhoff sulle tensioni e sulle correnti.

Reti costituite da bipoli non reattivi. Bipoli notevoli: resistori, generatori ideali di tensione e corrente. Resistori lineari: legge di Ohm. Collegamento di resistori in serie e parallelo, a stella e triangolo.

Teorema di Millman. Principio di sovrapposizione. Principio di sostituzione. Teorema di Thevenin e Norton. Metodi generali di soluzione di reti non reattive. Definizioni topologiche, grafo associato. Potenziali nodali. Metodo dei potenziali ai nodi. Metodo dei potenziali ai nodi modificato. Teorema di Tellegen. Conservazione della potenza, teorema di reciprocità. Metodo del tableau sparso.

N-poli e N-porte non reattivi: definizione, grafo associato, relazioni costitutive. Tripoli e due-porte: matrice resistenza, conduttanza, ibrida I e II. Rappresentazione trasmissione. Tripoli e due-porte notevoli: generatori pilotati, trasformatore ideale, giratore ideale, amplificatore operazionale ideale.

Reciprocità e simmetria. Circuito equivalente di tripoli e due-porte. Reti con generatori dipendenti.

Resistori non-lineari. Connessione di resistori non-lineari: metodo grafico. Analisi in continua e in regime di piccolo segnale di una rete non-lineare. Circuito equivalente di piccolo segnale. Reti con diodi ideali. Tripoli e due porte nonlineari. Caratteristiche di ingresso e uscita. Analisi di piccolo segnale. Soluzione di reti nonlineari non reattive con il metodo dei potenziali ai nodi.

Elementi reattivi: condensatore e induttore. Esempi. Connessioni serie e parallelo. Caratteristica carica-tensione e flusso-corrente di condensatore e induttore. Caratteristica tensione-corrente. Energetica di condensatori e induttori. Circuiti lineari con un solo elemento reattivo: comportamento transitorio e a regime. Variabili di stato. Transitori in reti RC e LC con un solo elemento reattivo. Transitori in reti RLC con due elementi reattivi. Equazione di stato: scrittura e risoluzione formale. Suddivisione della soluzione in soluzione transitoria, e soluzione a regime periodico o costante. Soluzione a regime di reti con generatori sinusoidali.

Fasori e loro proprietà. Impedenza e ammettenza. KVL e KCL in termini di fasori. Reti in regime sinusoidale con generatori a diverse frequenze. Potenze in regime sinusoidale. Potenza attiva, reattiva, apparente. Teorema di Boucherot. Massimo trasferimento di potenza: adattamento. Cenni di impianti elettrici. Generazione e distribuzione di energia elettrica. Confronto fra sistemi di distribuzione: monofase, trifase, DC. Sistemi trifase. Cenni alla protezione e sicurezza degli impianti elettrici.

Capacità e induttanze mutue. Matrice capacità e induttanza. Due-porte e tripoli in regime sinusoidale. Matrice ammettenza e impedenza. Accoppiamento perfetto. Circuito equivalente di induttori e condensatori accoppiati. Materiali ferromagnetici. Caratteristiche BH. Teoria dei circuiti magnetici. Riluttanza. Trasformatore reale: flusso disperso. Cenni alle perdite per isteresi e correnti parassite. Circuiti magnetici con traferro.

Macchine elettriche: trasformatori, motori, generatori, convertitori. Azioni meccaniche: principi generali. Azioni meccaniche in condensatori e induttori Macchina lineare. Macchine rotanti in corrente continua. L'alternatore. Il motore sincro. Il motore asincro. Il motore asincro monofase. Cenni a sistemi distribuiti e alle linee di trasmissione. Limite della rappresentazione a parametri concentrati.

### *Esercitazioni*

Saranno svolte esercitazioni numeriche che coprono tutti gli argomenti del corso e seminari integrativi, il cui programma sarà esposto all'albo del Dipartimento di Elettronica ed Informazione.

### *Modalità d'esame*

L'esame consta in una prova scritta e orale. Durante il corso dell'anno vengono proposte prove intermedie il cui superamento contribuisce alla valutazione finale.

### *Libri consigliati*

L. Chua, C.A. Desoer, E.S. Kuh, *Circuiti lineari e non lineari*, Ed. Jackson (traduz. ital.). (Tale testo è consigliato anche per il corso di Teoria delle reti elettriche).

G. Ghione, *Appunti di Elettrotecnica* Ed. CUSL

**ELETTROTECNICA (1/2 annualità)**  
**Prof. Dario D'AMORE****AH0104***Programma d'esame*

**1) Circuiti in regime stazionario.** Introduzione. Definizione delle grandezze elettriche fondamentali tensione e corrente attraverso la loro misura: Il voltmetro e l'amperometro. Convenzioni di segno. Il circuito elettrico a parametri concentrati ed i bipoli quali componenti elementari. Le leggi di Kirchhoff delle correnti e delle tensioni. La caratteristica di un bipolo, convenzioni di segno, esempi di caratteristiche. Punto di funzionamento del circuito elettrico elementare. Energia e potenza. Il wattmetro. Bipoli lineari, resistenza e conduttanza, interpretazione geometrica. Circuiti equivalenti, collegamento serie e parallelo di bipoli. Composizione serie e parallelo. Risoluzione di circuiti per riduzioni successive. Trasformazione stella triangolo. La sovrapposizione degli effetti. Teoremi di Thevenin e Norton. Uso delle leggi di Kirchhoff: Scrittura delle equazioni risolventi di un circuito. Analisi nodale ed analisi nodale modificata. Analisi d'anello.

**2) Circuiti in transitorio.** L'induttore: caratteristica, energia, legge costitutiva. Il condensatore: caratteristica, energia, legge costitutiva. Circuiti del I e II ordine, bilancio energetico.

**3) Circuiti in regime alternato sinusoidale.** Caratterizzazione delle grandezze elettriche alternate sinusoidali e loro rappresentazione mediante i fasori. Le leggi di Kirchhoff in regime alternato sinusoidale. Le leggi di lato in regime alternato sinusoidale: definizione di impedenza e ammettenza. Composizione serie e parallelo. Risoluzione di circuiti: estensione dei metodi in regime stazionario. La potenza in regime alternato sinusoidale, il teorema di Boucherot, diagrammi vettoriali delle potenze. La risonanza. Il rifasamento. I sistemi trifase a tre e quattro fili. Misura di potenza nei sistemi trifase.

**4) Il campo di conduzione, elettrico e magnetico in regime stazionario.** Definizione delle grandezze specifiche del campo elettrico, dielettrico e magnetico. Condensatore piano parallelo, capacità, azioni meccaniche. Solenoide rettilineo, induttanza, azioni meccaniche.

**5) Legge dell'induzione elettromagnetica.** Legge dell'induzione elettromagnetica. Induttori mutuamente accoppiati.

**6) Le macchine elettriche.** Perdite nei materiali ferromagnetici. Il principio di funzionamento del trasformatore. I dati di targa. Cenni sulla conversione elettromeccanica dell'energia: la macchina omopolare. Il principio di funzionamento della macchina asincrona, sincrona e a c.c. I dati di targa.

**7) Nozioni di impiantistica.** Cenni sulla produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. Generalità sugli apparecchi di manovra e protezione. Impianti di messa a terra. Cenni di anti infortunistica e norme C.E.I..

*Esercitazioni*

Saranno svolte esercitazioni numeriche settimanali e seminari sugli argomenti svolti a lezione.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una orale.

*Libri consigliati*

Giulio Fabricatore, *Elettrotecnica e applicazioni* Ed. Liguori

Bottani e Sartori, *Elettrotecnica* voi. I, Ed. Tamburini

Bottani e Sartori, *Appunti di Elettrotecnica* voi. II, Ed. Tamburini

Carrescia, *Fondamenti di sicurezza elettrica*, Hoepli

*Eserciziari*

Biey, *Esercitazioni di Elettrotecnica*, Clup

Bobbio, *Esercizi di Elettrotecnica*, Cuen.

**ELETTROTECNICA I****AH0117****Prof. Gabrio SUPERTI FURGA***Programma d'esame*

- 1. Grandezze elettriche fondamentali.** Cariche elettriche, corrente elettrica, legge di Kirchhoff delle correnti. Tensione elettrica e ddp, forza elettromotrice, legge di Kirchhoff delle tensioni. Lavoro e potenza. Unità di misura, voltmetro e amperometro ideali.
- 2. Campo di conduzione.** Campo di conduzione, resistività, tubo di flusso, resistenza elettrica, proprietà dei materiali conduttori. Modello circuitale del campo di conduzione.
- 3. Reti elettriche in regime stazionario.** Bipoli resistivi. Legame costitutivo. Bipoli lineari e non lineari, tempo-varianti. Composizioni serie e parallelo. Elaborazioni grafiche delle caratteristiche. Generatori ideali. Metodi elementari di soluzione. Teorema di Tellegen. Potenza. Equivalenti serie e parallelo. Linearità e sovrapposizione. Doppi bipoli. Generatori di tensione e di corrente pilotati. Trasformatore ideale. Giratore.
- 4. Campo elettrico.** Costante dielettrica. Tubo di flusso. Capacità. Bipolo condensatore. Legame costitutivo. Energia. Capacità mutue. Reti di condensatori.
- 5. Campi e circuiti magnetici.** Campo magnetico, permeabilità, tubo di flusso, riluttanza, forza magnetomotrice. Materiali ferromagnetici, saturazione, isteresi. Circuiti magnetici lineari e non lineari. Energia. Accoppiamenti tra circuiti elettrici e magnetici. Equivalenti elettrici di circuiti magnetici. Circuiti equivalenti di mutui induttori. Legge dell'induzione elettromagnetica, flusso concatenato, induttanza, bipolo induttore. Legame costitutivo. Circuiti accoppiati, coefficienti di auto e di mutua induzione, doppio bipolo mutuo induttore. Energia. Reti di induttori.
- 6. Azioni meccaniche.** Energia e azioni meccaniche del campo elettrico, formulazioni con i lavori virtuali. Energia e azioni meccaniche del campo magnetico, formulazioni con i lavori virtuali. Forza su conduttore in moto. Macchina elementare.
- 7. Transitori.** Formulazione della equazione differenziale. Transitori del primo ordine. Metodi elementari di soluzione.
- 8. Regime sinusoidale.** Sinusoidi, valori efficaci, fasori. Bipoli fondamentali in regime sinusoidale. Impedenze, ammettenze. Potenze in regime sinusoidale, istantanea, attiva, reattiva, apparente. Strumenti di misura in c.a. Teoremi fondamentali e analisi di rete con i fasori. Risposta in frequenza, risonanza. Teorema di Boucherot. Rifasamento. Regime periodico non sinusoidale, valori efficaci, potenze.
- 9. Proprietà generali delle reti algebriche.** Bipoli attivi e passivi con legami costitutivi algebrici. Bipoli elementari. Definizioni formali di tensione e corrente. Formulazioni di rete a generatori interni ed esterni. Risolubilità e unicità della soluzione. Maglie e nodi indipendenti. Linearità e sovrapposizione. Equivalenti di Thevenin e Norton. Tensioni e correnti indipendenti. Matrici topolo-

giche. Analisi matriciale ai nodi e agli anelli. Auto e mutue impedenze. Reciprocità. Doppi bipoli, modelli e proprietà, relazioni costitutive matriciali, circuiti equivalenti. Circuiti equivalenti del mutuo induttore.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni sono costituite da applicazioni numeriche relative ad argomenti del corso.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta e una prova orale da sostenersi nel medesimo appello.

#### *Libri consigliati*

- V. Daniele, A. Liberatore, R. Graglia, S. Manetti: *Elettrotecnica*. Monduzzi Editore.  
 F. Fiorio, I. Gorini, A.R. Meo: *Appunti di Elettrotecnica*, voi. I, Ed. Levrotto e Bella, Torino.  
 C. Desoer, E. Kuh: *Fondamenti di teoria dei circuiti* Franco Angeli Editore.  
 L. Chua, C. Desoer, E. Kuh: *Circuiti lineari e non lineari*. Jackson Ed.  
 R. Manigrasso, G. Petrecca: *Elettrotecnica industriale*. CLUP.  
 S. Bobbio: *Esercizi di elettrotecnica*. CUEN, Napoli.

## **ELETTROTECNICA II** **Prof. Renato MANIGRASSO**

**AH0106**

#### *Programma d'esame*

##### **1) Dall'elettromagnetismo all'elettrotecnica.**

Forma integrale e circuitale delle equazioni di Maxwell. Le condizioni di continuità. Sulla integrazione delle equazioni di Maxwell in assenza di sorgenti (equazioni di propagazione e di diffusione) ed in presenza di sorgenti (la condizione di Lorentz, il potenziale ritardato e le equazioni canoniche, il dipolo di Hertz). Il regime quasi stazionario, gli elementi bipolari ed i bipoli, la nozione di circuito.

##### **2) Reti elettriche lineari in regime stazionario ed in regime alternato sinusoidale.**

Albero, coalbero, maglie ed insiemi di taglio. Analisi alle maglie ed agli insiemi di taglio.

##### **3) Reti elettriche lineari in regime alternato non sinusoidale ed in regime aperiodico.**

Sviluppo in serie di Fourier. Potenze in regime deformato. Trasformata di Fourier e di Laplace. Proprietà delle impedenze e delle ammettenze simboliche. Risposta all'impulso ed alla sinusoide generalizzata. Convoluzione. Stabilità delle reti. Trasformata z.

##### **4) Circuiti lineari a simmetria polifase.**

Tensioni, correnti e potenze nei circuiti a simmetria polifase. La struttura dei modelli matematici dei sistemi a simmetria polifase.

Deduzione a priori della forma generale di matrice di trasformazione.

Particolarizzazioni: matrice dei componenti simmetrici e di trasformazione del numero delle fasi.

Esempi applicativi: le equazioni delle linee.

##### **5) Analisi nel dominio del tempo di reti lineari, anomale e tempo varianti.**

Richiami sulla soluzione dei sistemi di equazioni dei sistemi di equazioni differenziali lineari a coefficienti costanti. Le equazioni di stato. Metodi numerici di integrazione. Programmi per l'analisi delle reti.

**6) Energie e forze nei campi elettromagnetici.**

La trattazione circuitale tramite il principio di conservazione dell'energia. Reciprocità delle mutue induttanze differenziali. La trattazione locale: il tensore degli sforzi di Maxwell.

**7) Metodi ingegneristici per la soluzione della equazione Maxwell.**

Sorgenti puntiformi e lineari. Principio delle immagini. Metodo di separazione. Potenziale complesso e trasformazioni conformi. Proprietà del potenziale complesso per i campi stazionari. Metodi grafici di Lehmann. Metodi numerici: alle differenze finite ed agli elementi finiti. Condizioni al contorno. Programmi per la soluzione delle equazioni di Maxwell.

*Esercitazioni*

Gli argomenti oggetto del corso di esercitazioni sono:

- 1) Risoluzione di reti lineari, non lineari e tempo varianti in regime periodico ed aperiodico.
- 2) Forze sui sostegni ed energie nei campi elettromagnetici in regime quasi stazionario.
- 3) Soluzione di sistemi a simmetria polifase.
- 4) Applicazioni dei metodi di soluzione dei campi.

*Modalità d'esame*

L'esame è articolato in due parti nel seguente ordine:

- a) una prova scritta sugli argomenti delle esercitazioni;
- b) una prova orale sulla materia oggetto del corso di lezioni.

*Libri consigliati*

- 1) C.A. Desoer-E.S. Kuh *Fondamenti di teoria di circuiti* Ed. Franco Angeli
- 2) "Dispense del Corso".

**ENDOREATTORI**  
**Prof. Luigi DE LUCA**
**AKO110***Programma d'esame*

**1. Generalità.** Classificazione dei propulsori secondo le applicazioni ed i campi di impiego. Spinta, potenze, rendimenti. Impulso specifico ed impulso totale. Componenti principali dei propulsori. Proprietà dei gas reali ad alte temperature. Problemi di raffreddamento. Prestazioni in volo. Veicoli multistadio.

**2. Gasdinamica dell'effusore supersonico.** Teorie dell'effusore convergente-divergente. Effusori ideali. Trattazione monodimensionale. Gasdinamica interna dell'effusore adattato e gasdinamica dell'effusore operante in condizioni diverse da quelle di progetto. Portata massima, velocità dell'efflusso, spinta sviluppata in funzione del rapporto di espansione. Effusore di massima spinta. Fenomeni non isentropici: onde d'urto e distacchi di vena. Trattazione bidimensionale e assialsimmetrica. Effusori reali, spinta, ingombro. Controllo della direzione della spinta (tecniche TVC).

**3. Aerotermochimica.** Conversione dell'energia chimica in termica nella camera di combustione e conversione dell'energia termica in meccanica nell'effusore. Dipendenza dell'energia disponibile dal tipo di propellente, rapporto di miscela e condizioni operative nell'ipotesi di equilibrio termochimico. Propellenti additivati. Fenomeni di non equilibrio: reazioni chimiche ed efflussi bifase. Processi di perdita. Valutazione teorica dell'impulso specifico effettivo: metodi approssimati e metodi numerici.

**4. Endoreattori.** Generalità sugli endoreattori e caratteristiche comuni dei propellenti. Endoreattori a propellente solido: generalità ed architettura del motore, propellenti solidi, geometria della superficie di combustione (trasversale, cilindrica, qualsiasi), resistenza meccanica del grano di propellente, accensione, instabilità di combustione. Endoreattori a propellente liquido: generalità ed architettura del motore, propellenti liquidi, geometria della camera di combustione (testata d'iniezione e sistema di raffreddamento), serbatoi e sistemi di alimentazione, accensione, instabilità di combustione. Endoreattori a propellente ibrido: generalità ed architettura del motore, propellenti, accensione. Endoreattori a monopropellente: generalità ed architettura del motore, monopropellenti, accensione.

**5. Sperimentazione.** A punto fisso ed in volo. Banche prova, grandezze da misurare, sistemi di misura e registrazione. Organizzazione delle prove.

**6. Propulsione avanzata.** Cenni di propulsione nucleare, solare, elettrica, fotonica.

#### *Esercitazioni*

Si svolgono parallelamente alle lezioni e riguardano problemi fondamentali. Per le esperienze pratiche in laboratorio, gli allievi sono suddivisi in piccoli gruppi.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in un colloquio orale preceduto da un esercizio scritto.

#### *Libri consigliati*

*Appunti del corso distribuiti dal docente*, Politecnico, Milano, 1995.

G. P. Sutton: *Rocket Propulsion Elements*, VI Edizione. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1991.

M. Barrère: *La propulsion par fusées*, Sciences et Letters, S.A., Liège, 1959.

M. Barrère, A. Jaumotte, B.F. de Veubeke and J. Vandenkerckhove: *Rocket Propulsion*, Elsevier, 1960.

H. W. Liepmann, A. Roshko: *Elements of Gasdynamics*, 8th printing. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1967.

F.A. Williams, M. Barrère, N.C. Huang: *Fundamental Aspects of Solid Propellant Rockets*, AGARDograph 116, 1969.

I. Glassman, R.F. Sawyer: *The Performance of Chemical Propellants*, AGARDograph 129, 1970.

K. K. Kuo, M. Summerfield editors: *Fundamentals of Solid Propellant Combustion*, AIAA Progress in Astronautics and Aeronautics, Voi. 90, New York, 1984.

L. De Luca, E.W. Price, M. Summerfield editors: *Nonsteady Burning and Combustion Stability of Solid Propellants*, AIAA Progress in Astronautics and Aeronautics, Voi. 143, Washington, 1992.

## **ENERGETICA**

**AK0008**

**Prof. Ernesto PEDROCCHI**

#### *Programma d'esame*

#### **A) Energia e sviluppo. Analisi dei fabbisogni energetici per l'umanità.**

Cenno alla storia dell'energia. Fonti di energia: possibili classificazioni. Combustibili fossili: solidi, liquidi e gassosi (energia chimica), energia nucleare, energia idraulica, altre energie rinnovabili (solare, geotermica, eolica, delle maree ecc.).

Riserve accertate e presunte e risorse.

Previsione dei fabbisogni energetici per l'umanità a medio e a lungo termine.

**B) Richiami di termodinamica e introduzione alla teoria generale dell'exergia.**

Richiamo dei bilanci energetici e entropici per sistemi generici. Il bilancio exergetico generalizzato (tipiche grandezze exergetiche e la loro rappresentazione grafica). La distruzione di exergia e i rendimenti exergetici (varie formulazioni). Il difetto di efficienza e le frazioni di exergia distrutta; applicazione alla macchine semplici (turbine, compressori, pompe e scambiatori di calore). L'applicazione ai sistemi energetici classici (sistemi di riscaldamento, sistemi di produzione dell'energia pregiata, sistemi frigoriferi e a pompa di calore (a compressione e a assorbimento), sistemi "total energy"). Cenno ai sistemi cogenerativi più classici.

**C) La combustione e l'exergia chimica.**

La reazione chimica di combustione. I poteri calorifici dei combustibili (entalpie di formazione). La combustione stechiometrica, L'eccesso d'aria e al temperatura di fiamma (cenno all'analisi dei fumi). Conversione in lavoro del calore generato nella combustione. Exergia di un combustibile, la combustione reversibile le celle a combustibile). La distruzione di exergia nella combustione calda. Analisi exergetica di una caldaia per generazione di vapore e di un ciclo combinato.

**D) L'energia nucleare.**

La struttura del nucleo. La radioattività, la misura della radioattività. La fissione nucleare. I nuclei fertili. La reazione a catena ( $K^{00}$  e  $K$ ). I reattori nucleari (classificazioni). La sicurezza. L'effetto delle radiazioni sull'uomo (sorgenti naturali e sorgenti artificiali). Il legame dose e rischio. Le scorie radioattive.

**E) Impatto ambientale della produzione di energia da fonte non nucleare.**

La produzione di calore e la sua concentrazione sul territorio. I reflui della combustione (ossidi di zolfo, ossidi di azoto, ossido di carbonio, particolato, ozono, incombusti, reflui dovuti ad additivi e anidride carbonica) metodi di controllo della produzione. L'effetto serra, previsioni.

**F) Costi di produzione dell'energia. Contabilità energetica.**

Il costo dell'energia, costi dei combustibili. Il costo del calore in relazione alla sua exergia.

I costi di costruzione delle centrali per la produzione di energia elettrica. I costi di produzione dell'energia elettrica (incidenza dei costi di impianto e dei costi di gestione ivi inclusi i costi del combustibile).

Analisi economica comparativa di differenti alternative di piani di investimento nel settore energetico.

**G) La situazione energetica dell'Italia.**

Analisi storica della situazione italiana sia per l'energia primaria che per l'energia elettrica (in termini di potenza installata disponibile e di fabbisogni per le utenze). Previsioni a medio e breve termine dei fabbisogni. Confronto con gli altri paesi industrializzati. Specificità della situazione italiana e problemi connessi con le importazioni di carbone, idrocarburi e energia elettrica.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consisteranno nell'analisi di alcuni problemi energetici e nello studio di alcune situazioni reali (sono previste un paio di visite a significativi impianti energetici).

*Libri consigliati*

Durante il corso verranno fornite dispense e materiale didattico.

M. Silvestri: *Il futuro dell'energia*, Bollati Boringhieri Ed., Torino, 1988.

L. Borei: *Thermodynamique et Energetique*, Presse Polytechniques Romandes

T.J. Kotas: *The exergy Method for Thermal Plant Analysis*, Butterworths

A. Bejan: *Advanced Engineering Thermodynamics*, J. Wiley

J.L. Helm: *Energy: production, consumption and consequences*, Acc. Press

R. Mastrullo ed altri: *Fondamenti di energetica*, Liguori ed.

A. Fantini: *Fondamenti di ingegneria energetica*, Masson ed.

**ERGOTECNICA****AR0001****Prof. Marco ALBERTI, Augusto DI GIULIO***Programma d'esame***1. POSTO DI LAVORO.**

Interfaccia uomo - macchina. Progettazione ergonomica delle attrezzature e dei posti di lavoro. Ergonomia dei sistemi di lavoro avanzati (sale controllo; uffici e impianti automatizzati). Consolle di controllo.

**2. AMBIENTE DI LAVORO.**

Fattori caratteristici dell'ambiente di lavoro. Tutela della salute e del benessere degli operatori. Riferimenti legislativi. Condizioni ambientali e prestazioni lavorative. Esigenze ambientali dei sistemi di lavoro avanzati. Metodi quantitativi per la verifica complessiva della idoneità delle condizioni ambientali in fase di progettazione dei sistemi di produzione. Confronto tecnico-economico delle diverse soluzioni impiantistiche.

**Ambiente termico** (bilancio termico del corpo umano; indici microclimatici integrati; normativa; climatizzazione e risparmio energetico; criteri di scelta e dimensionamento dei sistemi di riscaldamento, ventilazione, condizionamento; prevenzione dello stress termico in ambienti caldi e freddi).

**Ambiente sonoro** (modalità di misura e criteri di valutazione; normativa; interventi attivi e passivi di insonorizzazione; controllo dell'inquinamento acustico esterno; collaudo acustico delle macchine e degli impianti; modelli di propagazione del rumore in ambienti chiusi ed all'esterno. Ultrasuoni e infrasuoni).

**Vibrazioni** (modalità di misura e criteri di valutazione; tecniche di prevenzione e di isolamento).

**Ambiente luminoso** (prestazioni visive; caratteristiche luminose degli ambienti, modalità di misura; normativa; indici di qualità dell'illuminazione, abbagliamento, riflessioni di velo, fattore d'ombra, sistemi di illuminazione naturale e artificiale; requisiti illuminotecnici dei posti di lavoro ad elevato impegno visivo).

**Inquinamento chimico e controllo della qualità dell'aria** (modalità di prelievo e analisi degli inquinanti, criteri di valutazione; normativa; progettazione degli interventi di bonifica; controllo delle emissioni all'esterno).

**Radiazioni non ionizzanti** (modalità di misura, criteri di valutazione, tecniche di controllo di campi elettromagnetici intensi e radiazioni U.V.; criteri di sicurezza nell'impiego di laser).

**3. ORGANIZZAZIONE DEL LAVORO.**

Tipologie dei processi produttivi. Fattori influenzanti la organizzazione del lavoro e loro evoluzione. Compiti, mansioni, cicli di lavoro. Tecniche di job analysis. Innovazione dei prodotti, automazione dei processi produttivi e loro riflessi sulla organizzazione del lavoro. Ergonomia, organizzazione del lavoro e produttività (analisi e misura della produttività; controllo totale della qualità (IQC); circoli di qualità (QC)).

**4. SICUREZZA SUL LAVORO.**

Condizioni pericolose e comportamenti pericolosi. Fatica psicofisica e sicurezza. Analisi degli incidenti e degli infortuni. Responsabilità giuridiche del progettista, dell'installatore, dell'utilizzatore di apparecchiature, macchine e impianti. Normative tecniche. Le attività di omologazione e vigilanza. Approccio sistemico nella valutazione dei rischi e nella progettazione della sicurezza. L'analisi degli alberi di guasto (FTA) e degli alberi degli eventi (ETÀ). Progettazione della sicurezza nei sistemi automatizzati e robotizzati. Qualità della sicurezza.

**5. SICUREZZA DEGLI IMPIANTI.**

Protezione dei beni aziendali e sicurezza del personale. Tecniche di analisi dei rischi e di stima dei danni. Criteri di scelta fra interventi volti a ridurre i rischi e quelli volti a limitare i danni. Forme di protezione assicurativa.

**Prevenzione ed estinzione degli incendi** (normativa, ubicazione e compartimentazione delle aree di rischio, vie di fuga, prevenzione delle cause d'incendio, sistemi di rivelazione e allarme, ventilazione degli incendi, impianti di estinzione).

**Prevenzione delle esplosioni** (normativa, miscele esplosive, sistemi automatici di monitoraggio e allarme, interventi tecnici di bonifica).

**Protezioni dalle intrusioni** (ubicazione delle aree da proteggere, barriere perimetrali, sorveglianza degli accessi, organizzazione del sistema di controllo, sicurezza del personale nelle situazioni di emergenza). Illuminazione di sicurezza. Applicazioni a situazioni tipiche (centri di elaborazione dati, sale controllo, sistemi robotizzati di produzione ecc..).

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nello sviluppo di elaborati di carattere applicativo, che potranno formare oggetto di domanda in sede d'esame.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale, eventualmente preceduta da una prova scritta, attinente sia il programma del corso che la soluzione di problemi di tipo applicativo. Durante l'anno potranno essere tenute prove scritte facoltative che, se superate con esito favorevole, potranno costituire elemento di giudizio per l'assegnazione del voto finale.

#### *Libri consigliati*

R. Ruggeri: *Controllo del rumore negli ambienti di lavoro*, Ed. CLUP.

R. Ruggeri: *Microclima degli ambienti civili e industriali*, Ed. CLUP.

R. Ruggeri: *Illuminazione degli ambienti di lavoro*.

Per approfondimenti, possono essere utilmente consultati i seguenti testi:

E. Me Cormick, M. Sanders: *Human Factors in engineering and design*, Me Graw Hill.

ASHRAE Handbook: *Fundamentals*.

H.W. Lord et al.: *Noise control for engineers*, Me Graw Hill.

ACGIH *Industrial ventilation*.

L.E. Davis e J.C. Taylor: *Design of jobs*, Penguin Books.

Morgan: *Images*, Franco Angeli

W. Rohmert e K. Landau: *A new technique for job analysis*, Taylor & Francis.

Costagliola, Culotta, Di Lecce: *Le norme di prevenzione per la sicurezza sul lavoro*, Pirola

*Accident prevention manual for industrial operations*, National Safety Council, USA

A.E. Green: *High risk safety technology*, John Wiley & Sons

P. Walker: *Electronic security systems*, Butterworths & Co.

**ERGOTECNICA EDILE**  
**Prof. Arie GOTTFRIED**

**AJ0016**

#### *Programma d'esame*

##### **1. Introduzione alla progettazione ergotecnica.**

Sistema edilizio. Organismo edilizio. La documentazione di appalto. I capitolati generale, speciale e prestazionale.

**2. Metodi e strumenti di progettazione e controllo delle dimensioni del sistema e dell'organismo edilizio.**

La qualità dimensionale. La coordinazione dimensionale. La complessità dimensionale del prodotto edilizio. I modelli di articolazione delle dimensioni di coordinazione. Variabilità dimensionali e tolleranze elementari. I modelli di riferimento per la progettazione e il controllo dimensionale delle giustapposizioni tra elementi tecnici. Le procedure operative di tracciamento. Controlli metrici: prescrizioni e riscontri di caratteristiche dimensionali; fondamenti per il controllo sperimentale: i controlli geometrico dimensionali e le procedure operative per il rilevamento.

**3. La progettazione operativa.**

Funzione e ruolo della progettazione operativa. I subsistemi tecnologici del progetto edilizio: analisi funzionale e dimensionale. L'informazione tecnica dei prodotti intermedi: la struttura della scheda tecnica. Le fasi esecutive dei subsistemi: relazioni e dipendenze. Struttura e contenuti del piano operativo di cantiere.

**4. Le attrezzature e i macchinari di cantiere.**

Tipologie e ambiti di utilizzo. Problemi di costo e criteri di scelta. L'automazione del cantiere.

**5. La sicurezza e l'igiene in cantiere.**

Caratteristiche e contenuti della normativa tecnica e gestionale della sicurezza. Figure professionali: funzioni e responsabilità per la sicurezza e l'igiene in cantiere. La documentazione del *sistema sicurezza* d'impresa: il manuale di sicurezza, il piano generale di sicurezza e salute, i piani particolari. Il problema della formazione: tendenza al rischio e motivazione alla sicurezza degli operatori di processo.

**6. La programmazione operativa.**

Le implicazioni della progettazione operativa dell'organismo edilizio sulla programmazione dell'intervento. Lo studio della programmazione temporale delle fasi esecutive dell'intervento edilizio. Gli strumenti: il diagramma di Gantt, il PERT- TIME deterministico e probabilistico. L'ottimizzazione delle risorse. Le implicazioni della programmazione dell'intervento sulla organizzazione del cantiere.

**7. La progettazione e la programmazione economica.**

Funzione e ruolo della progettazione economica. Il concetto di costo globale. I preventivi di costo sintetici e analitici. Costi diretti, indiretti ed esterni. Il PERT- TIME- COST. I piani economico-finanziari dell'intervento edilizio.

**\$. Elementi di progettazione gestionale.**

Funzione e ruolo della progettazione gestionale. I requisiti di gestione. Il modello di funzionamento dell'elemento tecnico. Criteri di controllo delle prestazioni di durata. Affidabilità e manutenibilità. I piani di gestione.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni, alle quali lo studente dovrà essere regolarmente iscritto all'inizio dell'anno di corso, consisteranno nell'applicazione delle metodologie e delle strumentazioni trattate nell'ambito delle lezioni a specifiche ipotesi operative.

*Modalità d'esame*

L'esame consisterà in una prova orale che potrà essere sostenuta dallo studente dopo aver positivamente svolto gli elaborati delle esercitazioni.

*Libri consigliati*

A. Gottfried (ed altri): *Ergotecnica edile: applicazioni di metodi e strumenti*, (II ediz.) Esculapio, Bologna, 1995.

A. Gottfried (ed altri): *Ergotecnica edile: sicurezza, rilievi e tracciamenti, sistemi di cassetta, macchinari e automazione del cantiere*, Esculapio, Bologna, 1995.

P. N. Maggi: *Il processo edilizio: metodi e strumenti di progettazione edilizia*, (vol.I) CittàStudi, Milano, 1994.

P. N. Maggi: *Il processo edilizio: metodi e strumenti di ergotecnica edilizia*, (vol.II) CittàStudi, Milano, 1994.

AA.W.: *Manuale di progettazione edilizia* (vol. 3) *Progetto tecnico e qualità*, Hoepli, Milano, 1994.

AA. VV.: *Manuale di progettazione edilizia* (vol. 4) *Tecnologie: requisiti, soluzioni, esecuzione, prestazioni*, Hoepli, Milano, 1995.

P. N. Maggi, A. Gottfried, L. Morra: *Qualità tecnologica dei prodotti complessi per l'edilizia*, Quaderno DISET n. 1, Esculapio, Bologna, 1992.

L. Morra, M. Rejna: *Controlli metrici in edilizia*, CLUP, Milano, 1991.

Normativa tecnica e normativa cogente di riferimento per le tematiche trattate nel Corso.

Pubblicistica tecnico-scientifica attinente i macchinari per l'edilizia, le tecnologie di cantiere e gli elementi costruttivi.

**ERGOTECNICA EDILE II****AJ0017****Prof. Pietro Natale MAGGI***Programma d'esame***1. L'informazione tecnica e la normativa per la guida del processo edilizio.**

Il modello generale dell'informazione nel processo. Orientamenti per la descrizione e per la classificazione dei componenti edilizi. La struttura della normativa prestazionale, oggettuale e del controllo. Il sistema di classificazione delle norme. Attuale consistenza del corpo normativo.

**2. Gli aspetti della qualità tecnologica.**

La qualità caratteristica, la qualità utile, la qualità operativa, la qualità di manutenibilità. Valutazioni fuori sistema e valutazioni nel contesto del progetto reale, criteri di scelta dei componenti edilizi.

**3. La qualità dimensionale dell'elemento tecnico.**

Lo studio della variabilità dimensionali. La verifica di normalità. Determinazione della tolleranza naturale di processo. Significatività delle differenze delle varianze e delle medie: confronti. Tolleranze di progetto e tolleranze di processo.

**4. La qualità gestionale dell'elemento tecnico: progettazione e programmazione gestionale.**

Principi informatori della qualità gestionale. Parametri, indici della qualità gestionale. Parametri, indici delle qualità: affidabilità elementare, affidabilità globale, durabilità di funzionamento, tempo medio di riparazione, disponibilità, manutenibilità. Metodi e strumenti per la valutazione della qualità gestionale: modelli di comportamento, modelli di funzionamento (componente funzionale e oggettuale); stima della propensione all'affidabilità di componenti a repertorio e profili di durabilità; stima della durabilità di funzionamento dei componenti a repertorio; stima della propensione alla manutenibilità di componenti a repertorio e profili di manutenibilità. La scelta dei componenti edilizi a repertorio in base ai profili della qualità di gestione. La compilazione delle schede diagnostica e clinica dei componenti edilizi.

Tipologie degli interventi di manutenzione.

I piani e i programmi di gestione.

**5. La struttura della documentazione tecnica per la programmazione della gestione dell'edificio.**

Il capitolato, il progetto, gli esiti del controllo. Il sistema deirinformazione connotante la documentazione di progetto. Le classi di funzionalità deirinformazione. Implicazioni dei modelli organizzativo-procedurali dell'intervento sulla configurazione dell'informazione. Utilità delle singole sezioni informative per la progettazione e per la programmazione della gestione dell'edificio. Prospettive di regolamento.

**6. La qualità operativa dell'elemento tecnico.**

Principi informatori della qualità operativa. Parametri, indici e criteri di stima della qualità operativa. Profili di qualità operative dei componenti edilizi. Criteri di scelta dei componenti in base ai profili di qualità operativa.

**7. Gli aspetti organizzativi e procedurali dei processi di produzione e costruzione.**

Modelli organizzativi e procedurali per gli interventi di nuova costruzione e per gli interventi di recupero

**8. L'ottimizzazione della programmazione.**

Criteri di programmazione operativa, temporale ed economica dei processi di intervento in funzione dei modelli organizzativi (formule tradizionali e evolute). L'ottimizzazione della programmazione e della pianificazione economico-finanziaria dell'intervento. Il supporto strumentale delle tecniche di programmazione.

**9. Il controllo della qualità del processo edilizio.**

Le fasi e i controlli nel processo edilizio. I momenti, i tipi, le operazioni e le strumentazioni di controllo di fase. L'affidabilità della qualità del processo in relazione al grado di programmazione dei momenti di controllo. Potenzialità di programmazione dei controlli di qualità in funzione dei modelli organizzativi del processo (formule tradizionali ed evolute).

**10. Il controllo statistico della qualità del prodotto intermedio.**

Funzione e ruolo del controllo nel processo produttivo e nel processo d'intervento. Il controllo della produzione. Il controllo per variabili: catena di lavorazione, stazioni di trasferimento e costruzione delle carte di controllo. Il controllo di routine. Interpretazione degli esiti del controllo e conseguenze.

Il controllo di accettazione del prodotto intermedio in stabilimento e in cantiere. La conformità del prodotto. Livello di qualità accettabile. Procedure per il collaudo. Classificazione delle non conformità. Curve operative caratteristiche. Interpretazione degli esiti del controllo e conseguenze.

**11. Il sistema qualità.**

Principi informatori. Cerchio della qualità. Struttura del sistema qualità. Il sistema qualità nella progettazione, nella produzione, nella costruzione, nella gestione.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni, alle quali lo studente dovrà regolarmente iscriversi all'inizio dell'anno del corso, consisteranno nell'applicazione a specifiche ipotesi operative delle metodologie e delle strumentazioni trattate nell'ambito delle lezioni e saranno condotte individualmente e a squadre.

*Modalità d'esame*

L'esame consisterà in una prova orale che potrà essere sostenuta dallo studente dopo aver positivamente svolto gli elaborati delle esercitazioni individuali e di squadra.

*Libri consigliati*

P.N. Maggi: *Il processo edilizio*, I e II voi., CittàStudi, Milano, 1994.

P.N. Maggi, A. Gottfried, L. Morra: *Qualità tecnologica dei prodotti complessi per l'edilizia*, Quaderno DISET n. 1, Esculapio, Bologna, 1993.

B. Daniotti, P.N. Maggi: *Valutazione della qualità tecnologica caratteristica dei prodotti complessi per l'edilizia*, Quaderno DISET n. 2/2, Esculapio, Bologna, 1993.

AA.VV.: *Documentazione tecnica e gestione degli edifici*, BeMa PFed, Milano 1993.

AA.VV.: *Proposizione di riferimenti normativi per il controllo e la qualificazione dell'attività imprenditoriale manutentiva*, PFed, Milano 1994.

AA.VV.: *Valutazione della qualità utile dei prodotti complessi per l'edilizia*, Quaderno DISET n.5, Esculapio, Bologna, 1994.

**ESTIMO****AJ0005****Prof. Angelo CARUSO DI SPACCAFORNO***Programma d'esame*

**1) Logica estimativa:** L'estimo: definizioni e funzione; partizioni e visioni. Fonti: giuridico-legali; economico finanziarie [beni economici, lo scambio, il mercato e le sue componenti, comportamento del consumatore]. Logica matematica finanziaria [annualità ed applicazioni nel campo estimativo - lo sconto - concetto di investimento e analisi relativa - saggio di rendimento interno - indici generali dei prezzi, potere d'acquisto della moneta].

**2) Teorica estimativa:** Il giudizio di stima. Metodologia della stima, sua evoluzione nel tempo ed analisi critica delle diverse correnti di pensiero.

Sistematica estimativa: la terra e la rendita; il capitale e l'interesse; saggio di rendimento; l'impresa ed il profitto.

**3) Problematica estimativa:** la stima delle aree, concetti, generali - le aree urbane - stima delle aree edificabili.

Il diritto di superficie e stime relative.

I costi insediativi; teoria della soglia; recupero dei costi insediativi.

Valutazione dei costi di realizzazione delle infrastrutture ed opere urbanizzative.

Stime fondiari rurali; bilancio aziendale; stima delle colture arboree.

I fattori di produzione delle costruzioni; valutazioni relative; il preventivo e sue componenti.

La stima dei fabbricati urbani: elementi influenti sul valore dei fabbricati urbani; i fabbricati

quali beni primari di utilità sociale e quali oggetto tipico di investimenti.

La pianificazione urbana e i suoi riflessi sul valore dei fabbricati.

L'istituto del condominio e le stime connesse. La stima dei fabbricati industriali e commerciali.

Stime dei diritti reali: l'usufrutto, le servitù prediali, stima delle servitù coattive.

Stima delle migliorie e dei danni, cenno alle stime assicurative.

Valutazione dei grandi progetti - Analisi dei Costi Benefici.

Valutazione dei beni naturalistici, artistici, e storici; cenno alla valutazione dei beni e dei danni ambientali.

**4) Temi di esercizio professionale:** Il Catasto: elementi di estimo catastale; struttura del catasto italiano; riflessi sui valori dei beni immobiliari delle vigenti normative catastali.

Le espropriazioni per causa di pubblica utilità.

Stime fiscali, giudiziarie ed extragiudiziarie.

L'Estimo nella realizzazione delle opere pubbliche:

la Legislazione sui Lavori Pubblici. L'appalto: definizioni, metodi, determinazione appaltatore; la liquidazione dei lavori; il collaudo dei lavori. L'arbitrato; la revisione dei prezzi.

#### *Esercitazioni*

Verrà svolta una perizia di stima su tema da concordarsi con il docente: in alternativa potrà essere sviluppata una ricerca, sempre su argomento da concordare.

#### *Modalità d'esame*

Per l'ammissione all'esame è necessaria la consegna preventiva dell'elaborato delle esercitazioni. L'esame consiste in una prova orale sul programma ed eventualmente sul lavoro delle esercitazioni.

#### *Libri consigliati*

V. Columbo: *Estimo: la logica, la teorica*, Giuffrè, Milano, 1962-82.

V. Poletti, C. Tenconi: *Note applicate di estimo territoriale ed urbano*, CULS, Milano, 1987.

C. Tenconi: *Estimo - Note introduttive sull'appalto e sul catasto*, CULS, Milano 1993.

Su specifici argomenti potranno essere forniti dal docente appunti nel corso delle lezioni.

Per un approfondimento della materia, si consigliano inoltre:

C. Forte-B. De Rossi: *Principi di economia ed estimo*, ETAS libri, Milano, 1974.

M. Grillenzoni, G. Grittani: *Estimo: teoria, procedure di valutazione e casi applicati*. Edagricole, Bologna, 1990.

I. Michieli: *Trattato di Estimo*, Edagricole, Bologna, 1988.

M. Orefice: *Estimo*, UTET, Torino, 1984.

L. Fusco Girard: *Risorse architettoniche e culturali: valutazioni e strategie di conservazione*, Franco Angeli, Milano, 1987.

## **FENOMENI DI INQUINAMENTO E CONTROLLO DELLA QUALITÀ' DELL'AMBIENTE AW0101**

*(Economia e Tecnica ambientale)*

**Proff. Luca BONOMO, Michele GIUGLIANO, Sergio VACCA'**

#### *Programma d'esame*

### **1. Il problema dello sviluppo sostenibile.**

a) Sviluppo e ambiente nei paesi industrializzati

b) Ambiente e sottosviluppo

c) Le risorse naturali rinnovabili ed esauribili

### **2. Fenomenologia dell'inquinamento.**

a) Acque superficiali (fenomeni di eutrofia, deossigenazione e inquinamento marino)

b) Acque profonde (fenomeni di inquinamento delle falde)

c) Atmosfera (fenomeni di inquinamento delle aeree urbane ed industriali, modifica della composizione dell'atmosfera su macroscale e su scala globale, precipitazioni acide, radioattività, rumore)

d) Suolo (fenomeni di contaminazione da smaltimenti di rifiuti solidi e liquidi)

### **3. Alternative tecnologiche per la prevenzione ed il controllo del danno ambientale.**

a) Gli interventi sui cicli di produzione e sulla gestione delle fonti

b) La tecnologia di depurazione delle acque

c) La tecnologia di trattamento e smaltimento dei rifiuti solidi (sistemi di recupero, incenerimento e discarica controllata)

**d)** La tecnologia di depurazione degli effluenti gassosi ed il ruolo dei combustibili nei processi di combustione fissa e mobile

**4. Criteri di protezione dell'ambiente.**

**a)** Criteri per la formulazione di indici e standard di qualità ambientale

**b)** Gli standard di qualità nella normativa italiana

**c)** Lo strumento della valutazione di impatto ambientale

**d)** Teoria e gestione del rischio ambientale

**5. L'analisi economica dell'inquinamento.**

**a)** Il livello ottimale di inquinamento

**b)** La soluzione di mercato e il teorema di Coase

**c)** Gli strumenti della politica ambientale: standard, tasse, sussidi, permessi negoziabili

**d)** Le politiche di controllo dell'inquinamento a livello nazionale ed internazionale

**6. La misurazione dei danni ambientali.**

**a)** La definizione del valore economico dell'ambiente

**b)** Le metodologie di valutazione

**c)** Il problema delle generazioni future

**7. Politica ambientale, industria e ambiente.**

**a)** L'ambiente come vincolo all'attività industriale

**b)** L'ambiente come opportunità per l'industria

**c)** Lo sviluppo della politica ambientale in Italia

**8. Sintesi e confronto degli approcci esaminati attraverso l'esame di casi rilevanti (da identificare).**

*Libri consigliati*

Per le parti 1, 5, 6: D. Perce - R.K. Tumer. *Economia delle risorse naturali e dell'ambiente*, Il Mulino, Bologna, 1991.

Altri riferimenti bibliografici, dispense e materiali di studio saranno distribuiti nel corso delle lezioni. L'orario di ricevimento studenti verrà esposto presso l'Istituto di Economia Politica all'Università Bocconi e presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento (Sezione Ambientale) al Politecnico.

**FENOMENI DI TRASPORTO BIOLOGICI**

**AA0019**

**Prof. Franco MONTEVECCHI**

*Programma d'esame*

**Struttura delle cellule e fluidi biologici.**

- Sistemi biologici, sottosistemi, componenti e materia fisica - La vita e i fluidi biologici - Omeostasi

**Principi fisici di biofluidinamica.**

- Leggi di conservazione - Viscosità di liquidi e gas - Equazioni di Navier-Stokes per fluidi incomprimibili Newtoniani - Similitudine, numero di Reynolds, numero di Stokes e numero di Womersley - Cenni alla teoria dello strato limite

**Fenomeni biofluidinamici.**

- La viscosità e il meccanismo di trasporto delle quantità di moto - Distribuzione della velocità in moto laminare - Distribuzione delle velocità con più di una variabile indipendente - Distribuzione della velocità nel moto turbolento - Bilancio macroscopico per sistemi isotermini

Liquidi biologici.

- Il sangue e la sua struttura - Sollecitazioni sul sangue ed emolisi - Reologia del sangue - Liquidi sinoviali - Altri liquidi biologici

Trasporto biologico di materia.

- Definizioni di concentrazione, velocità e flusso di materia - Pressione osmotica ed effetto Donnan - Pressione oncologica - Diffusività e legge di Fick - Teoria della diffusione ordinaria nei liquidi - Diffusione attraverso film gassosi - Diffusione con reazioni chimiche - Membrane biologiche - Diffusione attraverso membrane

Scambio di ossigeno e di anidride carbonica nel sangue.

- Struttura dei globuli rossi - Modelli di reazione della emoglobina - Diffusione facilitata - La membrana dei globuli rossi - Solubilità di ossigeno e di anidride carbonica nel plasma

Circolazione del sangue.

- I materiali e le caratteristiche del sistema vascolare - Equazioni descrittive globali e condizioni ai limiti - Flusso pulsatile nelle arterie - Biforcazioni e giunzioni - Collassabilità delle vene e flusso delle vene

Microcircolazione.

- Viscosità apparente e relativa - Legge di Stokes per la resistenza al moto di particelle sferiche in una corrente fluida - Resistenza al moto di particelle ellissoidali - Moto di agglomerati di particelle - Moto dei globuli rossi in microvasi - Modello di Krogh e derivati

Meccanica e fluidinamica cardiaca.

- Il sarcomero e le fibre muscolari cardiache - La circolazione coronarica - Meccanica e fluidinamica delle valvole cardiache, degli atri e dei ventricoli - Caratterizzazione globale del cuore - Accoppiamento del cuore con le circolazioni sistemica e polmonare

Modelli di trasporto biofluidinamici.

- Analisi compartimentale - Apparato respiratorio - Apparato renale - Circolazione fetale

Biofluidinamica computazionale.

- Soluzioni analitiche e computazionali dei problemi biofluidinamici - Metodi alle differenze finite - Metodi agli elementi finiti - Metodi a crescita dello strato limite.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in un colloquio volto ad accertare la conoscenza degli argomenti del corso e l'approfondimento dei modelli matematici e dei metodi di calcolo dei fenomeni esaminati.

*Libri consigliati*

R. B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot: *Fenomeni di trasporto*, Casa Editrice Ambrosiana - Milano.

E.N. Lightfoot: *Transport Phenomena and Living Systems*, John Wiley & Sons.

S. Middleman: *Transport Phenomena in the Cardiovascular System*, John Wiley & Sons.

Y.C. Fung: *Biomechanics: Motion, Flow, Stress and Growth*, Springer-Verlag.

Y.C. Fung: *Biomechanics: Circulation*, Springer-Verlag.

Dispense su particolari argomenti.

**FINANZA AZIENDALE**  
**Prof. Francesco BRIOSCHI**

**AQ0016**

*Programma d'esame*

**PARTE I - I TITOLI A REDDITO FISSO**

- Valutazione, parametri caratteristici, struttura per scadenza dei tassi di interesse - Tipologie e caratteristiche dei Titoli di Stato italiani - Il concetto di arbitraggio.

**PARTE II - I TITOLI AZIONARI**

- Modelli di valutazione e parametri caratteristici.

**PARTE III - LA TEORIA DEL PORTAFOGLIO ED IL CAPITAL ASSET PRICING MODEL (CAPM)**

- Scelte dell'investitore in condizioni di incertezza - Teoria del portafoglio in un contesto uniperiodale - Rischio e rendimento di uno o più titoli rischiosi, portafogli efficienti con e senza vendite allo scoperto, teorema di separazione - Equilibrio del mercato e CAPM - Il caso dei fondi comuni di investimento italiani.

**PARTE IV - L'EFFICIENZA DEI MERCATI**

- Forme di efficienza e comportamento dei diversi mercati finanziari.

**PARTE V - LA STRUTTURA FINANZIARIA E PROPRIETARIA DELLE IMPRESE E LA POLITICA DEI DIVIDENDI**

- La teoria dell'irrelevanza - Il fattore fiscale ed i rischi del dissesto - La politica dei dividendi - Tipologia degli strumenti finanziari - Costi di agenzia e struttura proprietaria (Modello di Jensen e Meckling).

**PARTE VI - I TITOLI DERIVATI**

- La copertura dei rischi finanziari - Contratti *forward*, *futures* e *swaps* - Opzioni - Valutazione dei contratti forward - L'equazione differenziale di Black e Scholes per la valutazione delle opzioni - Opzioni implicite - Obbligazioni convertibili e *warrants* - *Interest rate swap* - *Domestic Currency Swap*.

**PARTE VII - LA RACCOLTA DI CAPITALE DI RISCHIO**

- Diverse metodologie di raccolta - Metodo dei diritti - Comportamento di prezzo all'emissione (Modello di Myers e Majluf) - Trasferimenti di ricchezza in presenza di diverse tipologie di azioni.

**PARTE VIII - LE FUSIONI E ACQUISIZIONI**

- Modalità, determinanti, regole del gioco e reazioni del mercato finanziario.

*Modalità di esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

*Materiale didattico consigliato*

Parte I

Brealey R. e Myers S., 1991, *Principles of corporate finance*, McGraw-Hill 4ª edizione, capp. 4, 23.

Buzzacchi L. e Paleari S., 1995, *Imprese, Investitori e Mercati Finanziari. Teoria ed applicazioni*,

Giappichelli Editore, cap. 2.

Parte II

Brealey R. e Myers S., op. cit., cap. 4.

Buzzacchi L. e Paleari S., op. cit., cap. 3.

Parte IIIGarbade K., 1982, *Securities Markets*, McGraw-Hill, capp. 6, 7, 8, 9, 10, 12.Varian H., 1990, *Microeconomia*, Cafoscarina, capp. 11, 12.

Si veda anche Brealey R. e Myers S., op. cit., cap. 7, 8.

Parte IV

Brealey R. e Myers S., op. cit., cap. 13

Garbade K., op. cit., cap. 13.

Parte V

Brealey R. e Myers S., op. cit., cap. 14, 16, 17, 18.

Jensen M.C. e Meckling W.H., *Theory of the firm: managerial behavior, agency costs and ownership structure*, in "Journal of Financial Economics", ottobre 1976, pp. 305-60.Parte VIHull J., 1989, *Options, futures and other derivative securities*, Prentice Hall; capp. 2, 3, 4, 5.

Si veda anche Brealey R. e Myers S., op. cit., capp. 20, 21, 22.

Parte VII

Brealey R. e Myers S., op. cit., cap. 15

Myers S.C. e Majluf N., *Corporate financing and investments decision when firms have information that investors do not have*, in "Journal of Financial Economics", 1984, pp. 187-221.Brioschi F. e Paleari S., *Trasferimenti di ricchezza e dinamica dei rapporti di prezzo negli aumenti di capitale complessi*, in "Rivista degli Analisti Finanziari", 12, ottobre 1994, pp. 9-16.Parte VIII

Brealey R. e Myers S., op. cit., cap. 33.

P.S. I testi di Brealey e Myers, Garbade e Hull esistono anche in versione italiana.

**FISICA ATOMICA I****AV0108****Prof. Carlo Enrico BOTTANI***Programma d'esame***Elementi di meccanica quantistica.**

Basi sperimentali della meccanica quantistica

Postulati della meccanica quantistica e equazione di Schroedinger

**Elementi di fisica atomica.**

Atomo di idrogeno - Orbitali atomici

Spin dell'elettrone e principio di Pauli

Atomi a molti elettroni - campo medio

Assorbimento ed emissione di fotoni (nel visibile e nella regione dei raggi X)

Diffusione

**Cenni di fisica molecolare.**

Approssimazione adiabatica legame chimico e orbitali molecolari

Spettroscopia rotovibrazionale delle molecole e implicazioni applicative, (es. il laser ad anidride carbonica).

Durante il corso verranno svolte alcune esercitazioni sperimentali su:

- a) Diffrazione di elettroni (Esperimento di Davisson e Germer)
- b) Misura di spettri atomici di emissione.
- c) Misura di spettri vibrazionali molecolari

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

#### *Libri consigliati*

- M. Alonso, E.J. Finn: *Fundamental University Physics*, voi. Ili: Quantum and Statistical Physics. Addison Wesley Publi. Co., 1969.  
 A.S. Davydov: *Quantum Mechanics* 2nd Ed, Pergamon Press, 1976.  
 S. Gasiorowicz: *Quantum Physics*, John Wiley, 1974.  
 H. Haken, H. Wolf: *Fisica atomica e quantistica*, Boringhieri, 1990.  
 G. Caglioti: *Introduzione alla Fisica dei Materiali*, Zanichelli, 1974.

### **FISICA ATOMICA II (1/2 annualità)**

**A VOI 17**

**Prof. Paolo Maria OSSI**

#### *Premessa*

Scopo del corso è di introdurre alcuni "oggetti" fisici scoperti di recente, le cui proprietà peculiari sono determinate dalle dimensioni, o dal tipo di ordine strutturale, intermedi fra quelli dei sistemi atomici e quelli dei solidi.

#### *Programma d'esame*

**I solidi: geometrie e simmetrie.** I solidi platonici ed i loro duali; elementi di simmetria spaziale; politopi e loro proiezione; elementi di cristallografia; il reticolo reciproco.

**Ordine strutturale.** Ordine e disordine; regole di ordinamento; disordine cellulare e disordine topologico; materiali strutturalmente disordinati; descrizione del disordine tramite l'entropia.

**La transizione vetrosa.** Fenomenologia della transizione vetrosa; teorie fenomenologiche, termodinamiche e dinamiche della transizione vetrosa; facilità di amorfizzazione.

**La struttura dei sistemi condensati disordinati.** Perché studiare la struttura degli amorfi; funzioni di distribuzione; tecniche sperimentali: diffrazione; EXAFS; spettroscopia Mössbauer; spettroscopia IR; conclusioni; ordine a corto raggio; ordine a medio raggio; modelli strutturali.

**Clusters.** Definizione di cluster atomico; produzione e rivelazione di grappoli atomici; struttura dei clusters di van der Waals; struttura dei clusters di metalli alcalini; il fullèrene C<sup>60</sup>.

**Quasicristalli.** Cristalli periodici ed aperiodici; il concetto esteso di cristallo; quasicristalli e tassellature; strutture modello ed approssimanti cristallini; proprietà strutturali e stabilità di fase di quasicristalli reali.

**Nanocristalli.** Importanza delle interfaccia; metodi di preparazione; microstruttura e struttura atomica delle interfaccia; diffusione; proprietà meccaniche; vetri con dimensioni nanometriche.

**Appendice.** Cenni sulle funzioni semiperiodiche e quasiperiodiche e sulle relative proprietà spettrali.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

*Testi consigliati*

N.E. Cusack: *The Physics of Structurally Disordered Matter*, IOP, Bristol, 1987

C. Janot: *Quasicrystals. A Primer*, Clarendon, Oxford, 1992

S.R. Elliott: *Physics of Amorphous Materials* (2nd Ed.), Longman, London, 1990.

Sono inoltre disponibili note alle lezioni.

**FISICA ATOMICA II + FISICA NUCLEARE II (c.i) (1, 2)****000867****Prof. Paolo Maria OSSI, Alessandra CESANA***Programma d'esame***I. FISICA ATOMICA II****1.1 Fondamenti****1.1.1 Elementi di Fisica Statistica**

Probabilità, funzioni di distribuzione, statistica di Maxwell-Boltzmann, statistica di Fermi Dirac, statistica di Bose Einstein.

**1.1.2 Proprietà magnetiche della materia**

Diamagnetismo, paramagnetismo, momento magnetico e suscettibilità paramagnetica di un insieme di atomi, risultati sperimentali.

**1.1.3 Spettroscopia X**

Spettri X in assorbimento, EXAFS, spettroscopia Auger, spettroscopia di fotoelettroni (XPS).

**1.2 Approfondimenti e temi avanzati di ricerca****1.2.1 MASER e LASER**

Il principio di funzionamento del MASER, il MASER a tre livelli, il LASER a rubino, il LASER ad He-Ne.

**1.2.2 Clusters atomici**

Definizione, produzione e rivelazione, struttura dei clusters di Van der Waals, struttura dei clusters di metalli alcalini, il fullerene C<sub>60</sub>.

**1.2.3 Elementi di teoria dello scattering**

Scattering da atomo puntiforme ed esteso, comportamento di un'assemblea di atomi, funzione di distribuzione radiale, equazione di Debye, intensità di scattering totale e ridotta, scattering da sistemi a più componenti.

*Modalità d'esame:*

L'esame consiste in una prova orale

*Libri consigliati:*

H.Haken and H.C.Wolf: *Fisica atomica e quantistica*, Bollati Boringhieri, Torino, 1990.

P.M.Chaikin and T.C.Lubensky: *Principles of condensed matter physics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.

G.Caglioti: *Introduzione alla fisica dei* /wftfer/ff//, Zanichelli, Bologna, 1974

M.Alonso and E.J.Finn: *Fundamental University Physics*, Volili, Addison-Wesley Reading, MS, 1973.

Sono inoltre disponibili note alle lezioni.

**FISICA DEI REATTORI A FISSIONE****AV0109****Prof. Vincenzo SANGIUST***Programma d'esame*

1. La fissione nucleare. Flussi neutronici e tassi di reazione. Biblioteche di sezioni d'urto.
2. L'equazione della diffusione. Neutroni termici. Criticità a un gruppo.
3. Il rallentamento dei neutroni. L'equazione dell'età alla Fermi. Criticità alla Fermi. Metodi multigruppo.
4. Reattori eterogenei. Riflettori. Barre di controllo. Effetti di temperatura, veleni, conversione.
5. Misure di distribuzione spazio-energetica del flusso. Tecniche di deconvoluzione.
6. Misure di lunghezze di diffusione e di rallentamento. Misure di parametri di cella.
7. Misure di rumore neutronico in reattori a potenza zero.

*Esercitazioni*

Il corso prevede una serie di esercitazioni teoriche.

*Libri consigliati*

- J. R. Lamarsh: *Nuclear Reactor Theory*, Addison Wesley, 1966;  
 K. H. Beckurts, K. Wirtz: *Neutron Physics*, Springer Verlag, Berlin 1964;  
 A. Weinberg, E. Wigner: *The Physical Theory of Neutron Chain Reactor*, Univ. of Chicago Press, 1958;  
 G.B. Zorzoli: *Fisica Sperimentale dei Reattori Nucleari*, Feltrinelli 1971.

**FISICA DELLO STATO SOLIDO****AV0007****Prof. Giuseppe CAGLIOTI***Programma d'esame***1 - I postulati della meccanica quantistica.****2 - Nozioni di fisica atomica e di fisica molecolare.****3-1 cristalli: relazioni fra strutture a livello atomico e proprietà fisiche.**

La simmetria nei cristalli. Simmetria traslazionale e conservazione della quasi-quantità di moto. Il reticolo reciproco. Stati stazionari dell'elettrone in un cristallo concepito come un sistema polistabile, e bande di livelli energetici. Metodi di analisi della struttura dei cristalli mediante diffrazione dei raggi X e dei neutroni.

Classificazione, struttura e proprietà caratteristiche dei metalli, dei semiconduttori, in relazione ai differenti tipi di legame. Stati di Bloch, energia di Fermi e il gap fra banda di valenza e banda di conduzione.

Stati dipendenti dal tempo per l'elettrone in un cristallo, pacchetto d'onde e conduzione dell'elettricità, massa efficace.

Moti atomici nei cristalli. Modi vibrazionali, fononi acustici e fononi ottici, e I) forze interatomiche, II) calori specifici, III) conducibilità elettrica e diffusività termica. Anarmonicità del potenziale interatomico e parametro di Grueneisen.

Metodi di analisi della dinamica delle strutture cristalline mediante scattering anelastico dei neutroni.

**4 - Cristalli di valenza e semiconduttori.**

Bande di valenza e di conduzione in Ge e Si. Semiconduttori intrinseci e drogati. Concentrazione dei portatori. L'effetto Hall.

**5 - Proprietà meccaniche dei metalli e dinamica delle strutture cristalline.**

Costanti elastiche e costanti delle forze interplanari. Energia di superficie per clivaggio. Dislocazioni: aspetti geometrici, dinamici, entropici ed energetici. Termodinamica della deformazione elastica e termodinamica irreversibile della deformazione plastica. Meccanismi di frattura. Valori critici della forza di avanzamento della cricca e dell'intensificazione degli sforzi.

Le lezioni saranno integrate da cicli di seminari didattici su superconduttori (in particolare sui superconduttori ad alta temperatura) e su altri nuovi materiali di interesse tecnologico.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono in esperienze di fisica dei materiali o dimostrazioni di laboratorio nonché nello svolgimento di esercizi numerici relativi agli argomenti trattati nelle lezioni. Le esercitazioni di laboratorio sono obbligatorie per gli studenti del Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare, indirizzo Materiali e per gli studenti del corso di laurea in Ingegneria dei Materiali.

Esse sono facoltative per tutti gli altri studenti. Le esercitazioni o dimostrazioni di laboratorio vertono su:

- diffrazione di elettroni (esperienza di Davisson e Germer),
- diffrazione di luce laser da un reticolo di diffrazione,
- effetto Hall,
- costante di Grueneisen,
- diffusività termica,
- modulo di Young,
- limite termoelastoplastico, snervamento.

**Gli studenti che frequenteranno le esercitazioni sono tenuti a presentare una relazione scritta sulle esercitazioni svolte.**

*Libri consigliati*

G. Caglioti: *Introduzione alla Fisica dei Materiali*, Capp. II-III-IV, Zanichelli (1974).

G. Caglioti: *Appunti delle lezioni di Fisica dello Stato Solido*, Complementi (dispense), 1995-96

C. Kittel: *Introduction to Solid State Physics*, VI Edition, John Wiley, New York, 1986.

J. Gordon, *La Scienza dei Materiali resistenti*, EST Mondadori, Milano 1976.

*Introduzione ai Materiali*, a cura di G. Caglioti, EST Mondadori e Open University, Milano (1976).

Neil W. Ashcroft and N. David Mermin: *Solid State Physics*, HRW International Editions, Tokyo, 1981.

S. Carrà, *La formazione delle strutture*, Bollati Boringhieri, Torino, (1989).

*Nota agli Studenti*

La sezione I relativa alla meccanica quantistica e le nozioni di fisica atomica sono strutturate in un ciclo di lezioni.

Questi argomenti nonché le lezioni di fisica molecolare sono presentate in forma elementare nei saggi di G. Caglioti: *Simmetrie infrante, nella scienza e nell'arte*, CittàStudi Edizioni, Milano 1994 (seconda edizione), e *Eidos e Psiche, struttura della materia e dinamica dell'immagine*, Ilisso, Nuoro 1995.

**FISICA ED INGEGNERIA DEI PLASMI**

**AV0101**

**Prof. Roberto POZZOLI**

*Programma d'esame*

**I. Caratteristiche generali del plasma.**

Lo stato di plasma. Plasma in natura e in laboratorio.

Il plasma termonucleare. La fusione controllata.

Dinamica delle particelle in una configurazione a confinamento magnetico. Moti di deriva.

Campi collettivi. Oscillazioni e onde di plasma. Dinamica delle particelle nel campo di un'onda elettrostatica.

Collisioni. Tempi caratteristici dei processi collisionali. Resistività del plasma.

**II. Modelli di descrizione del plasma.**

Campi microscopici e campi medi. Equazioni di Maxwell.

Descrizione cinetica del plasma. Equazione di Fokker-Planck. Equazione di Vlasov.

Equazioni dei momenti. Descrizione fluida.

Il modello a un solo fluido. Le equazioni della magnetoidrodinamica ideale.

La magnetoidrodinamica resistiva.

**III. Comportamento magnetoidrodinamico del plasma.**

Equilibrio magnetoidrodinamico.

Onde magnetoidrodinamiche.

Stabilità magnetoidrodinamica del plasma.

Esempi di instabilità.

**IV. Interazione del campo elettromagnetico con il plasma.**

Propagazione di onde elettromagnetiche nel plasma. Cut-off e risonanze.

Interazione onda-particella. Smorzamento di Landau.

Microinstabilità.

Interazione laser-plasma.

**V. Fenomeni di trasporto.**

Trasporto collisionale.

Meccanismi di trasporto anomalo.

**VI. Emissione di radiazione dal plasma.**

Emissione di ciclotrone.

Bremsstrahlung.

**VII. La fusione controllata.**

Fusione a confinamento magnetico.

Riscaldamento del plasma.

Dinamica delle particelle  $\alpha$ .

Fusione inerziale.

Interazione fascio-plasma.

Metodi diagnostici.

**Vili. Applicazioni dei plasmi.**

*Libri consigliati*

R. Pozzoli: *Fisica del plasma termonucleare e astrofisico*, CLUED, Milano, 1984;

L.A. Artsimovich: *Fisica elementare del plasma*, Editori Riuniti, Roma, 1975.

F.F. Chen: *Introduction to plasmaphysics*, Plenum Press, New York, 1990.

N.A. Krall, A.W. Trivelpiece: *Principles of plasma physics*, Me Graw Hill, New York, 1973.

V.E. Golant, A. P. Zhilinsky, I.E. Sakharov: *Fundamentals of plasma physics*, John Wiley, New York, 1980

**FISICA GENERALE I****000828**

**Proff. Leonardo ROSI, Carlo BOTTANI, Bruno CANDONI, Lamberto DUO', Grazia GAMBARINI, Patrizia JONA BASSETTI, Vittorio MAGNI, Fulvio PARMIGIANI, Mauro NISOLI, Paola TARONI, Pierluigi ZOTTO. Gianluca VALENTINI, Fiorenza QUASSO.**

*Programma d'esame***ELEMENTI DI METROLOGIA.**

Misure di grandezze. Definizioni dirette ed indirette. Analisi dimensionale. Il Sistema Internazionale. Indici di stato.

**FONDAMENTI DI MECCANICA.**

- 1) Sistemi di riferimento. Posizione, traiettoria, velocità, accelerazione. Velocità angolare ed accelerazione angolare. Metodi di misura di grandezze cinematiche. Cinematica relativa classica.
- 2) Statica del punto. Forze e composizione delle forze. Reazioni vincolari. Attrito.
- 3) Leggi della dinamica newtoniana. Massa inerziale. Forza. Metodi di misura di masse e forze. Quantità di moto. Momento angolare. Lavoro, energia cinetica ed energia potenziale. Equilibrio. Leggi di conservazione. Forza elastica. Sistemi di particelle. Urti.
- 4) Interazioni naturali. Basi sperimentali della legge di gravità. Massa gravitazionale e campo gravitazionale. Basi sperimentali della legge di Coulomb; carica elettrica. Stati legati in campi gravitazionali o coulombiani. Moto di particelle cariche in campi magnetici, forza di Lorentz. Forze apparenti in riferimenti non inerziali. Forza peso.
- 5) Fluidi reali ed ideali. Densità e peso specifico. Pressione. Metodi di misura della pressione.

**FONDAMENTI DI TERMODINAMICA.**

- 1) Sistemi termodinamici. Variabili di stato. Equilibrio termodinamico. Trasformazioni. Cicli. Lavoro termodinamico.
- 2) Definizione e metodi di misura della temperatura. Equazione di stato dei gas ideali. Definizione e metodi di misura di quantità di calore. Calori specifici. Calori latenti.
- 3) Basi sperimentali della prima legge della Termodinamica. Energia interna. Applicazioni ai gas ideali.
- 4) Irreversibilità. Seconda legge della Termodinamica. Teorema di Camot. Temperatura termodinamica assoluta. Entropia. Disuguaglianza di Clausius.

**ELEMENTI DI TEORIA CINETICA DEI GAS.**

Interpretazione cinetica di temperatura e pressione in un gas ideale. Equipartizione dell'energia. Calori specifici dei gas ideali. Misura della distribuzione di velocità molecolari e teoria di Maxwell. Gas reali e modello di van der Waals.

*Modalità d'esame*

Prima di ogni appello di esami si svolgerà una prova scritta. Con tale prova il candidato potrà acquisire elementi per valutare la propria preparazione e decidere di conseguenza l'opportunità di presentarsi subito all'appello d'esame o di ripresentarsi ad un appello successivo.

*Libri consigliati*

In alternativa uno dei seguenti testi elencati in ordine alfabetico:

1. M. Alonso e E.J.Finn: *Elementi di Fisica per l'Università*, vol.I, Masson/Addison-Wesley, Milano (corredato da uno dei testi di termodinamica sotto elencati).
2. G. Bernardini: *Fisica Generale*, Parte I, Veschi, Roma.
3. R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands: *La Fisica di Feynman*, voi. I, Addison-Wesley, Milano.
4. P. Mazzoldi, M. Nigro e C. Voci: *Fisica*, voi. I, Edizioni S.E.S., Napoli.
5. S. Rosati: *Fisica Generale*, voi. I, CEA, Milano.

6. R.A. Serway: *Fisica*, voi. I, S.E.S., Napoli.
7. D. Sette: *Lezioni di Fisica*, vol. I e II, Veschi, Roma.
8. W.E. Gettys, F.J. Keller, M.J. Skove: *Fisica classica e moderna*, I voi., McGraw-Hill libri Italia s.r.l., Milano

Per la sola termodinamica:

- 1) G. Boato: *Termodinamica*, CEA, Milano.
- 2) A. Dupasquier: *Lezioni di Termologia e Termodinamica*, CittàStudi, Milano.
- 3) E. Fermi: *Termodinamica*, Boringhieri, Torino.
- 4) M.W. Zemansky: *Calore e Termodinamica*, Zanichelli, Bologna.

## **2. FISICA NUCLEARE II**

### **2.1 Fondamenti**

#### **2.1.1 La struttura del nucleo**

Esperienza di Rutherford, carica-massa ed energia di legame, distribuzione della materia nucleare, raggio, momenti nucleari.

#### **2.1.2 Forza tra nucleoni**

Deuterone, scattering nucleone-nucleone a basse energie.

#### **2.1.3 Modelli nucleari**

Modello a gas di Fermi, modello a goccia di liquido, formula semiempirica delle masse, linee di stabilità e modi di decadimento, modello a shell.

#### **2.1.4 Radioattività**

Legge fondamentale del decadimento radioattivo, decadimenti  $\alpha$ ,  $\beta$ , diseccitazione nucleare, emissione  $\gamma$  e conversione interna, schemi di decadimento.

#### **2.1.5 Reazioni nucleari**

Definizioni, leggi di conservazione, sezione d'urto, reazioni dirette, nucleo composto, reazioni indotte da neutroni, fissione, fusione.

### **2.2 Approfondimenti**

#### **2.2.1 Proprietà della forza nucleare**

#### **2.2.2 Modelli nucleari collettivi**

#### **2.2.3 Interazione debole e la fisica dei neutrini**

*Modalità d'esame.*

L'esame consiste in una prova orale

*Libri consigliati:*

K.S.Krane: *Introductory Nuclear Physics*, J.Wiley & Sons Inc., 1987.

W.N.Cottingham & D.A. Greenwood: *An introduction to Nuclear Physics*, Cambridge University Press, 1986.

**FISICA GENERALE II****000829**

(per tutti gli allievi esclusi quelli di Ingegneria Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni)

**Proff. Marco SEGHI, Franco CICCACCI, Giorgio CIUCCI, Bruno DE MICHELIS, Luigi QUARTAPELLE, Roberta RAMPONI, Paolo VAVASSORI.***Programma d'esame*

- 1. Campo elettrico statico:** carica elettrica; conservazione e quantizzazione della carica; legge di Coulomb della forza elettrica; definizione di campo elettrico  $E$ ; Principio di sovrapposizione, rappresentazione di campi vettoriali; flusso del campo elettrico; legge di Gauss.
- 2. Potenziale elettrostatico:** integrale di linea di  $E$ ; potenziale elettrostatico; legge di Gauss in forma locale; equazione di Poisson e di Laplace per il potenziale; energia elettrostatica di un sistema di cariche; dipolo elettrico.
- 3. Conduttori elettrici:** campo e potenziale elettrostatici vicino ai conduttori; capacità di un conduttore e di sistemi di conduttori; condensatori; energia immagazzinata in un condensatore carico; energia del campo elettrostatico.
- 4. Correnti elettriche:** corrente stazionaria; vettore densità di corrente; equazione di continuità; legge di Ohm; resistività e conducibilità elettrica; modello microscopico della conducibilità; effetto Joule; generatori di forza elettromotrice; leggi di Kirchhoff.
- 5. Campo magnetico statico:** definizione e unità di misura del campo magnetico  $\mathbf{B}$ ; forza di Lorentz; moto di cariche elettriche in campo magnetico; II formula di Laplace; forza su circuito percorso da corrente; circuiti chiusi e spire; dipolo magnetico; campo magnetico generato da correnti; legge di Biot-Savart; I formula di Laplace; equivalenza spira-dipolo magnetico; forze tra conduttori percorsi da corrente; definizione dell'ampere; assenza di cariche magnetiche; circuitazione di  $\mathbf{B}$  e legge di Ampere; potenziale vettoriale  $A$  (cenni).
- 6. Campi  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{B}$  variabili nel tempo:** serie e integrale di Fourier (cenni); leggi di Faraday-Neumann dell'induzione elettromagnetica; legge di Lenz; campi elettrici non conservativi; legge dell'induzione in forma locale; generatori e motori; autoinduzione; circuiti  $LR$ ; energia immagazzinata in un solenoide percorso da corrente; energia dal campo magnetico; legge di Ampère-Maxwell; equazioni di Maxwell.
- 7. Circuiti in corrente alternata:** formalismo dei numeri complessi per fenomeni oscillanti; circuiti a costanti concentrate; impedenza degli elementi circuitali; connessioni in serie e in parallelo; circuito  $RLC$ , risonanza; potenza nei circuiti.
- 8. Campi elettrici nella materia:** momenti di dipolo e multipolo di una distribuzione di cariche; modelli atomici; polarizzabilità elettrica; vettore polarizzazione; densità di carica di polarizzazione di volume e di superficie; campi elettrici nella materia; legge di Gauss nei dielettrici; vettore induzione dielettrica  $D$ ; costante dielettrica relativa.
- 9. Campi magnetici nella materia:** materiali diamagnetici, paramagnetici e ferromagnetici; momenti magnetici elementari; vettore magnetizzazione; campi magnetici nella materia; vettore  $H$  e correnti di magnetizzazione.
- 10. Equazioni di Maxwell:** elettromagnetismo e principio di relatività; postulati della relatività ristretta; trasformazioni di Lorentz (cenni); campi generati da una carica in moto rettilineo uniforme; equazioni di Maxwell con sorgenti; soluzione delle equazioni di Maxwell nel vuoto; onde elettromagnetiche; potenziali scalare e vettoriale del campo elettromagnetico e trasformazioni di gauge (cenni).
- 11. Fenomeni ondulatori:** onde elastiche di una corda; equazione delle onde elastiche; onde armoniche; energia trasportata dalle onde armoniche; onde di pressione nei gas, suono; onde piane e onde sferiche; sovrapposizione di onde; onde stazionarie; battimenti; interferenza.

**12. Onde elettromagnetiche:** equazione delle onde e.m. nel vuoto; onde piane e sferiche; polarizzazione lineare e circolare; onde nei mezzi omogenei e isotropi; indice di rifrazione; densità di energia e di quantità di moto delle onde e.m.; vettore di Poynting; equazione di continuità per l'energia elettromagnetica; pressione di radiazione; dipolo oscillante e campo di radiazione; energia irradiata da una carica accelerata (cenni); spettro della radiazione elettromagnetica.

**13. Ottica:** misura della velocità della luce; natura della luce: proprietà ondulatorie e corpuscolari; effetto fotoelettrico; leggi della riflessione e della rifrazione; principio di Huygens; dispersione; interferenza; diffrazione; ottica nei mezzi anisotropi; birifrangenza; elementi di ottica geometrica: specchi e lenti sottili.

#### *Modalità d'esame*

Prima di ogni appello d'esami si svolgerà una prova scritta. Con tale prova il candidato potrà acquisire elementi per valutare la propria preparazione e decidere di conseguenza l'opportunità di presentarsi subito all'appello d'esame o di ripresentarsi ad un appello successivo.

#### *Libri consigliati*

In alternativa, uno dei seguenti testi in ordine alfabetico:

1. M. Alonso, E.J. Finn: *Elementi di Fisica per l'Università*, voi. II, Masson, Milano.
2. E. Arnaldi, R. Bizzarri, G. Pizzella: *Fisica Generale: Elettromagnetismo, relatività, ottica*, Zanichelli, Bologna 1986.
3. S. Bobbio, E. Gatti: *Elettromagnetismo-Ottica*, Bollati Boringhieri, Torino 1991.
4. R.Feynman, R.Leighton, M.Sands: *La fisica di Feynman*, Addison-Wesley, 1969
5. W.E. Gettys, F.J. Keller, M.J. Skove: *Fisica classica e moderna*, voi. II, *Elettromagnetismo e onde*, McGraw-Hill Italia, Milano 1992.
6. D. Halliday, R. Resnick, K.S. Krane: *Fisica 2*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano 1994.
7. L. Lovitch e S. Rosati: *Fisica Generale: Elettricità, Magnetismo, Ottica*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano 1983.
8. C. Mencuccini, V. Silvestrini: *Fisica 2, Elettromagnetismo e ottica*, Liguori Editore, Napoli 1988.
9. D.E. Roller, R. Blum: *Fisica*, voi. II, Zanichelli, Bologna 1984.

## **FISICA GENERALE II**

**000829**

(per allievi di Ingegneria Biomedica, Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni)

**Proff. Rinaldo CUBEDDU, Sandro DE SILVESTRI, Vera RUSSO**

#### *Programma d'esame*

**Fenomeni elettrici e loro descrizione.** La carica elettrica. Esperimento di Millikan. Legge di Coulomb. Principio di sovrapposizione. Campo elettrico. Potenziale elettrico. Teorema di Gauss in forma integrale e differenziale. Conduttori e isolanti. Induzione elettrostatica. Legge di Coulomb. Equazione di Poisson. Equazione di Laplace. Cenni alla soluzione della equazione di Laplace. Cenni ai metodi e sua soluzione: condizioni al contorno. Proprietà delle funzioni armoniche. Metodi delle cariche immagine per il calcolo del potenziale. Capacità elettrica. Relazioni tra potenziali e cariche per un sistema di conduttori. Dipolo elettrico: potenziale e campo. Sviluppo in multipoli di un potenziale. Polarizzazione dei dielettrici. Vettore polarizzazione. Cariche di polarizzazione. Campo elettrico di un dielettrico polarizzato. Legge di Gauss nei dielettrici: il vettore D. Suscettività dielettrica e costante dielettrica. Condizioni al contorno per i vettori E e D. Energia di un sistema di cariche. Densità di energia del campo elettrico. Energia di un dipolo in campo elettrico.

Forza e coppia su un dipolo in campo elettrico. Campo elettrico molecolare in un dielettrico. Polarizzabilità dei mezzi polari e non polari.

**Corrente elettrica stazionaria.** Intensità e densità di corrente. Principio di conservazione della carica ed equazione di continuità. Conducibilità e resistività. Modello di conduzione elettrica a livello microscopico. Legge di Ohm in forma locale e integrale. Effetto Joule. Campo elettromotore e forza elettromotrice. Leggi di Kirchhoff.

**Fenomeni magnetici e loro descrizione.** Magneti e circuiti elettrici. Forza magnetica su una carica in moto e su una corrente. Campo magnetico e sua misura. Campi magnetici generati da cariche in moto e correnti stazionarie. Formule di Laplace. Forze e coppie tra circuiti percorsi da corrente. Legge di Ampère. Potenziale vettore. Principio di equivalenza di Ampère. Cenni sulle trasformazioni dei campi per diversi sistemi di riferimento. Magnetizzazione dei mezzi materiali. Vettore magnetizzazione. Correnti di magnetizzazione. Potenziale scalare. Legge di Ampère per i mezzi materiali: il vettore  $H$ . Sorgenti del campo  $H$ . Campo magnetico di un mezzo magnetizzato. Condizioni al contorno per i campi  $B$  ed  $H$ . Suscettività magnetica e permeabilità magnetica. Mezzi ferromagnetici: ciclo di isteresi, circuiti magnetici, magneti permanenti. Modelli elementari per diamagnetismo e paramagnetismo. Precessione di Larmor. Cenni di ferromagnetismo. Energia magnetica per un sistema di circuiti percorsi da correnti. Densità di energia magnetica.

**Fenomeni di induzione elettromagnetica, campi elettromagnetici dipendenti dal tempo.** Esperimenti di Faraday e correnti indotte. Legge di Faraday e legge di Lenz. Autoinduzione. Mutua induzione. Corrente di spostamento, legge di Ampère-Maxwell. Equazioni di Maxwell. Condizioni al contorno per i campi  $E$ ,  $D$ ,  $B$  e  $H$  in regime non stazionario.

**Onde.** Propagazione per onde: equazione delle onde. Onde longitudinali e trasversali. Onde piane e sferiche. Polarizzazione. Onde sinusoidali, pulsazione temporale e spaziale. Vettore d'onda. Densità di energia nella propagazione per onde. Intensità di un'onda. Velocità di fase. Mezzi dispersivi e velocità di gruppo. Effetto Doppler.

**Onde elettromagnetiche.** Potenziale scalare e vettore e loro equazioni di propagazione. Potenziali ritardati. Densità di energia di quantità di moto di un'onda elettromagnetica. Vettore e teorema di Poynting. Campo elettromagnetico generato da una carica accelerata e da un dipolo oscillante. Esperimento di Hertz. Spettro delle onde elettromagnetiche.

**Propagazione delle onde elettromagnetiche nella materia.** Assorbimento, diffusione e dispersione. Effetto fotoelettrico e concetto di fotone. Riflessione e rifrazione. Angolo di Brewster. Propagazione in un conduttore.

**Fenomeni ottici e loro descrizione.** Concetto di coerenza. Interferenza di onde prodotte da due sorgenti. Onde stazionarie. Interferenza da  $N$  sorgenti. Interferenza per riflessione o trasmissione da una lamina sottile. Diffrazione di Fraunhofer da una fenditura rettangolare e circolare. Principio di Huygens. Diffrazione da due fenditure uguali. Reticolo di diffrazione. Dispersione e potere risolvente di un reticolo. Ottica geometrica. Il prisma e sue proprietà. Spettroscopio a prisma. Specchio sferico. Rifrazione su una superficie sferica. Lenti sottili. Formazione dell'immagine. Ingrandimento. Telescopio. Microscopio.

#### *Modalità d'esame*

Prima di ogni appello d'esami si svolgerà una prova scritta. Con tale prova il candidato potrà acquisire elementi per valutare la propria preparazione e decidere di conseguenza l'opportunità di presentarsi subito all'appello d'esame o di ripresentarsi ad un appello successivo.

*Libri consigliati*

(in ordine alfabetico)

M. Alonso, E.J. Finn: *Elementi di Fisica per l'Università*, voi. II, Masson Italiana editori, Milano, [solo per l'Ottica].

E. Arnaldi, R. Bizzarri, G. Pizzella: *Fisica Generale*, Zanichelli, Bologna.

R. Blum, E. Roller: *Fisica*, voi. II, Zanichelli, Bologna.

S. Bobbio, E. Gatti: *Elementi di Elettromagnetismo*, Boringhieri, Torino.

P. Caldirola, M. Fontanesi, E. Sindoni: *Elettromagnetismo* parte I e II, Masson, Milano.

D. Sette: *Lezioni di Fisica*, voi. Ili [Elettromagnetismo] e *Quaderni di Fisica*, voi. II [Ottica], Eredi V. Veschi, Roma

C. Mencuccini, V. Silvestrini: *Fisica II Elettromagnetismo Ottica*, Liguori, Napoli.

M. Mazzoldi, N. Nigro, C. Voci: *Fisica Elettromagnetismo-Onde*, Voi II, EdiSES, Napoli

*Eserciziari*

M. Musolino, M. Nisoli, A. Pifferi, C. Sozzi, S. Taccheo: *Esercizi di Fisica 2*, Ed. CUSL.

M. Nigro, C. Voci: *Problemi di Fisica Generale* (elettromagnetismo e ottica) Cortina, Padova.

S. Focardi: *Problemi di Fisica Generale. Elettricità, Magnetismo, Ottica*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano

**FISICA GENERALE III****000861****Prof. Lucio BRAICOVICH***Programma d'esame***1. Questioni generali di ottica.**

La natura elettromagnetica della luce. Aspetti ondulatori della radiazione elettromagnetica. La diffrazione e il principio di Huyghens. La rifrazione. La dispersione. L'interferenza. Aspetti della radiazione elettromagnetica. Effetto fotoelettrico. Effetto Compton.

**2. La crisi della meccanica classica e i fondamenti della meccanica quantistica.**

Il principio di Heisenberg e la sua base sperimentale. L'evidenza sperimentale del principio di sovrapposizione degli stati, del concetto di funzione d'onda, e dell'interpretazione statistica della funzione d'onda. L'equazione per gli autostati dell'energia. L'evoluzione temporale di un sistema. Problemi a simmetria centrale: sistemi idrogenoidi. Problemi monodimensionali: buca rettangolare di potenziale, scalino di potenziale, oscillatore armonico, elettrone in potenziale periodico. L'identità delle particelle in meccanica quantistica: simmetria, antisimmetria, introduzione fenomenologica dello spin e principio di esclusione.

**3. Struttura della materia.**

Lo studio della struttura della materia nell'ambito dello schema a particella indipendente e le applicazioni elementari a:

**3.1** Struttura atomica. Atomi a molti elettroni e sistema periodico degli elementi.

**3.2** Struttura molecolare. La molecola di idrogeno e cenni a molecole più complesse. Nell'ambito del corso di Fisica 3, aperto agli allievi elettronici e nucleari, viene tenuta una serie di seminari avanzati espressamente dedicati agli allievi nucleari. Lo scopo è di fornire alcuni elementi di meccanica quantistica avanzata illustrandoli con alcune applicazioni alla fisica della materia condensata. In questo ambito viene posta particolare attenzione allo studio della teoria delle rappresentazioni e dei modi approssimati per la risoluzione dei problemi di meccanica quantistica.

### *Esercitazioni*

Per gli allievi nucleari, nell'ambito delle esercitazioni e, nel limite del possibile, delle lezioni, viene approfondito l'uso dei metodi esposti nei punti 2-3.1 e 3.2 onde coordinare meglio il lavoro con quello degli altri corsi dell'indirizzo di laurea; a tal fine viene trattato almeno un problema monografico inerente la struttura della materia.

### *Libri consigliati*

Allievi corso di laurea in Ingegneria Elettronica:

- Alonso/Finn: *Fundamental University Physics*, voi. Ili, Addison Wesley Pubi. Co.

Allievi corso di laurea in Ingegneria Nucleare:

- Gasiorowitz: *Quantum Physics*, John Wiley.

## **FISICA MATEMATICA**

**AP0025****Prof.ssa Elisa BRINIS UDESCHINI**

### *Programma d'esame*

#### **Premesse matematiche.**

Spazi vettoriali e spazi euclidei. Algebra tensoriale. Analisi tensoriale in varietà riemanniane ed euclidee. Derivazione covariante, connessione riemanniana e trasporto parallelo. Tensore di curvatura. Operatori differenziali. Densità scalari e integrazione. Cenni a varietà più generali.

Richiami sul calcolo delle variazioni e sul principio variazionale di Hamilton.

#### **Relatività ristretta.**

Principio di relatività galileiana. Postulati fondamentali della relatività ristretta. Lo spazio-tempo di Einstein-Minkowsky. Trasformazioni di Lorentz (generali e speciali) e conseguenze. Meccanica relativistica del punto materiale. Energia relativistica. Principi di conservazione. Sistemi continui. Tensore energia-quantità di moto.

#### **Campo elettromagnetico nello spazio-tempo.**

Tetrapotenziale e tetracorrente. Tensore campo. Invarianza di gauge. Invarianti. Equazioni di campo. Tensore energetico. Equazione di d'Alembert e onde elettromagnetiche. Varietà caratteristiche e propagazione ondosa. Azione elettromagnetica e deduzione variazionale delle equazioni di campo.

#### **Introduzione alla teoria generale dei campi.**

Formulazione lagrangiana e hamiltoniana di una teoria. Principio di Hamilton generalizzato. Deduzione variazionale di equazioni di campo e di identità. Legame fra proprietà di invarianza e leggi di conservazione. Applicazioni a campi scalari e vettoriali nello spazio-tempo. Cenni a campi spinoriali.

#### **Relatività generale.**

Principio di relatività generale. Principio di equivalenza. Campo gravitazionale e campo apparente. Spazio-tempo della relatività generale. Azione Einsteiniana ed equazioni gravitazionali. Problema esterno e problema interno. Soluzioni approssimate e rigorose. Soluzione di Schwarzschild e conseguenze. Effetti relativistici e verifiche sperimentali. Buchi neri. Moto di una particella di prova. Identità e leggi di conservazione. Problema cosmologico. Campo elettromagnetico e campo gravitazionale. Onde gravitazionali. Cenni a teorie più generali.

*Libri consigliati*

V. Ougarov: *Teoria della relatività ristretta* (Trad. Ital.) Edizioni M.I.R. Mosca (1982).

A. O. Barut: *Electrodynamics and Classical Theory of Fields and Particles*. The MacMillan Company - New York (1964).

J. Adler, M. Bazin, M. Schiffer: *Introduction to General Relativity*. McGraw-Hill Book Company - New York (1975).

B. Finzi, M. Pastori: *Calcolo tensoriale e applicazioni*. Zanichelli - Bologna (1961).

**FISICA NUCLEARE**  
**Prof. Mario TERRANI**

**AV0010**

*Programma d'esame***Basi della Fisica Quantistica.**

Spettro del corpo nero, effetto fotoelettrico, effetto Compton, Spettri atomici, ipotesi di De Broglie, principio di indeterminazione di Heisenberg.

**Elementi di Meccanica Quantistica.**

Postulati generali, funzione d'onda e densità di probabilità, equazione di Shroedinger.

Applicazioni: gradino e barriera di potenziale, buca di potenziale, particella in campo di forze centrali, stati del momento angolare.

**Struttura Microscopica della Materia.**

Modello di Rutherford, costituenti ultimi della materia.

Atomo di idrogeno, atomi a più elettroni, modello vettoriale, Raggi X.

Molecola ione idrogeno, moti rotazionali e vibrazionali.

Struttura del nucleo: raggio, carica, massa ed energia di legame.

Forze nucleari: deutone, interazione neutrone-protone.

**Processi Nucleari.** Decadimento radioattivo: decadimento  $\alpha$ ,  $\beta$ ; diseccitazione. Reazioni nucleari.

Fissione e Fusione.

*Esercitazioni*

Sono previste esercitazioni numeriche in aula ed alcune esperienze di Laboratorio.

*Libri consigliati*

M. Alonso, E.J. Finn: *Fundamental University Physics*, Voi. Ili, Addison Wesley Pubi.Co., 1969

K.S. Krane: *Introductory Nuclear Physics*, J. Wiley & Sons Inc., 1987

**FISICA NUCLEARE (1/2 annualità, 2)**  
**Prof. Pierfrancesco BORTIGNON**

**AV0110**

*Programma d'esame*

Proprietà della forza nucleare.

Modelli nucleari microscopici.

Modello statistico del nucleo atomico - Il nucleo composto e il concetto di temperatura nucleare -

La struttura nucleare a temperatura finita.

Teorie del trasporto per il nucleo atomico.

Reazioni nucleari ad energie ultrarelativistiche - L'equazione di stato della materia nucleare.  
L'interazione forte e la struttura del nucleone.  
L'interazione debole e la fisica dei neutrini.  
La nucleosintesi.

#### *Esercitazioni*

Il corso prevede esercitazioni numeriche in aula e seminari.

#### *Libri consigliati*

K.S. Krane: *Introductory Nuclear Physics*, J. Wiley & Sons Inc., 1987.  
W.N. Cottingham & D.A. Greenwood: *An Introduction to Nuclear Physics*, Cambridge Un. Press, 1986.  
P.J. Siemens & A.S. Jensen: *Elements of Nuclei. Many-Body Physics with the Strong Interaction*, Addison-Wesley, 1987.  
E. Segrè: *Nuclei e Particelle*, Zanichelli, 1982.  
G. Morpurgo: *Introduzione alla Fisica delle Particelle Elementari*, Zanichelli, 1987.  
N.G. Van Kampen: *Stochastic Processes in Physics and Chemistry*, North Holland, 1981.

## **FISICA TECNICA**

**AK0003**

(per gli allievi di Ingegneria Aerospaziale)

**Prof. Adriano MUZZIO**

#### *Programma d'esame*

### **A. TERMODINAMICA**

**1. Introduzione alla termodinamica:** Natura della termodinamica. Definizione di sistema termodinamico. Vincoli e pareti. Concetto di equilibrio termodinamico. Lavoro meccanico, lavoro chimico, calore, energia interna. Primo principio della termodinamica. Postulati entropici. Equazione fondamentale in forma entropica ed in forma energetica. Parametri intensivi. Principio di minima energia. Ricerca delle condizioni di equilibrio. Relazioni formali. Stabilità intrinseca dei sistemi monocomponenti.

**2. Formulazioni alternative dell'equazione fondamentale e relazioni tra le sue derivate:** Trasformate di Legendre. Potenziali termodinamici: potenziale di Helmholtz, entalpia, potenziale di Gibbs. Proprietà e principi estremanti. Relazioni di Maxwell. Uso degli Jacobiani. Applicazioni.

**3. Transizioni di fase:** Sistemi omogenei ed eterogenei. Fasi. Regola delle fasi. Transizioni di fase del primo ordine in sistemi monocomponenti. Equazione di Clapeyron-Clausius. Punto triplo. Punto critico. Diagrammi di stato delle sostanze pure. Transizioni di fase di ordine superiore.

**4. Processi e macchine termodinamiche:** Processi quasi statici. Processi reversibili ed irreversibili. Depositi e sorgenti di lavoro e di calore. Macchine termodinamiche. Processi ciclici e loro proprietà. Frigoriferi e pompe di calore. Effetti delle irreversibilità nei processi di conversione.

**5. Proprietà delle sostanze:** Generalità. Coefficienti di particolare importanza. Proprietà dei gas ideali. Gas ideale multicomponente. Trasformazioni politropiche per i gas ideali. Proprietà dei gas reali. Equazioni di stato. Proprietà dei liquidi e dei solidi semplici.

**6. Termodinamica tecnica:** Bilanci globali delle grandezze estensive nei sistemi fluenti. Principi di conservazione della massa e dell'energia. Bilancio dell'entropia. Rendimenti delle macchine. Analisi monodimensionale dell'efflusso in regime stazionario di fluidi comprimibili. Numero di Mach. Cicli termodinamici e il concetto di rigenerazione.

Cicli termodinamici a gas, cicli termodinamici con cambiamento di fase, cicli frigoriferi. Analisi entropica. Aria umida. Grandezze caratteristiche e stati di equilibrio. Diagramma psicrometrico. Principali processi e trattamenti dell'aria umida. Cenni di condizionamento.

## **B. TRASMISSIONE DEL CALORE**

- 1. Generalità:** Equazioni di bilancio. Equazioni fenomenologiche. Analisi dimensionale. Meccanismi di scambio termico. Proprietà termofisiche.
- 2. Conduzione:** Equazione di Fourier. Adimensionalizzazione dell'equazione di Fourier e delle condizioni al contorno: numeri di Fourier e di Biot. Risoluzione dell'equazione di Fourier in alcuni casi di regime stazionario e di regime variabile. Conduzione con conduttività termica variabile.
- 3. Convezione:** Nozioni fondamentali di fluidodinamica. Convezione. Coefficiente di scambio termico convettivo. Convezione naturale, forzata e mista. Gruppi adimensionali caratteristici della convezione. Cenni alla trasmissione di calore in cambiamento di fase.
- 4. Trasmissione del calore per irraggiamento:** Emissione, propagazione ed assorbimento di energia radiante. Leggi di Kirchhoff, Planck, Stefan-Boltzmann e Wien. Scambio termico tra radiatori diffusi. Flusso di energia radiante in mezzi assorbenti. Irraggiamento solare.
- 5. Scambiatori di calore:** Tipologia. Bilancio energetico globale e locale. Relazioni di progetto. Efficienza. Considerazioni progettuali. Metodi di valutazione delle prestazioni.

### *Esercitazioni*

Sono costituite da applicazioni numeriche e da complementi.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

### *Libri consigliati*

- G. Muzzio, G. Sotgia: *Lezioni di Fisica Tecnica*, Spiegel, Milano.  
E. Pedrocchi, M. Silvestri: *Introduzione alla termodinamica tecnica*, CLUP, Milano.  
E. Pedrocchi, M. Silvestri: *Introduzione alla trasmissione del calore*, CLUP, Milano.

### *Libri consigliati per approfondimenti*

- W. Zemansky: *Calore e Termodinamica*, Zanichelli.  
H. B. Callen: *Termodinamica*, Tamburini.  
F. F. Huang: *Engineering Thermo dynamics*, Mac Millan P. Co. Inc.  
F. Kreith: *Principi di trasmissione del calore*, Liguori Editore.  
G. Guglielmini, C. Pisoni: *Elementi di Trasmissione del calore*, Ed. Veschi.

### *Eserciziari*

- C. Bianchi, F. Sturlese: *Esercitazione di Termodinamica*, CLUP, Milano.  
G. Guglielmini, E. Nannei, C. Pisoni: *Problemi di Termodinamica Tecnica e Trasmissione del Calore*, Ed. ECIG.  
E. Bettanini, F. De Ponte: *Problemi di Trasmissione del Calore*, Patron, Padova.

**FISICA TECNICA****AK0003**

(per gli allievi di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio)

**Prof. Cesare Maria JOPPOLO***Programma d'esame***A) TERMODINAMICA.**

**1) Definizioni e postulati.** Definizione di sistema termodinamico. Vincoli e pareti. Grandezze di stato. Energia interna. Scambi energetici. Scambi energetici e primo principio della termodinamica. Postulati entropici. Relazione fondamentale entropica ed energetica. Grandezze intensive. Relazioni formali, relazione di Eulero e di Gibbs-Duhem. Potenziali termodinamici. Relazioni di Maxwell. Utilizzo degli Jacobiani.

**2) Condizioni di equilibrio.** La ricerca delle condizioni di equilibrio: i principi estremanti per l'entropia e l'energia interna. Equilibrio termico, meccanico e rispetto al trasporto di materia.

**3) Trasformazioni.** Trasformazioni quasi statiche. Trasformazioni reversibili ed irreversibili. Depositi e sorgenti di calore e di lavoro.

**4) Bilanci di massa e di energia.** Sistemi chiusi al trasporto di materia: la massa di controllo. Sistemi aperti al trasporto di materie: il volume di controllo. Bilanci di massa e di energia in un volume di controllo. Applicazione a macchine e componenti (turbine, compressori, organi di laminazione, miscelatori, ugelli, diffusori, scambiatori di calore).

**5) Bilanci entropici.** Diseguaglianze di Clausius. Generazione di entropia. Bilanci entropici per sistemi chiusi. Macchine termodinamiche per produzione di lavoro. Macchine frigorifere e pompe di calore. Parametri di prestazione per le macchine termodinamiche. Limitazioni alle prestazioni delle macchine termodinamiche. Criteri di valutazione delle prestazioni. Bilanci entropici in un volume di controllo. Applicazione a macchine e componenti.

**6) Proprietà delle sostanze.** Stabilità intrinseca di sistemi monocomponente. Caratteristiche generali degli stati monofase, bifase e trifase. Calori specifici ed altri coefficienti di particolare importanza. Gas ideali e trasformazioni politropiche. Gas reali, liquidi e solidi semplici. Coefficienti di Joule-Thomson. Regola delle fasi. Transizioni di fase del primo ordine. Stato critico. Stati tripli. Rappresentazioni grafiche delle proprietà di sistemi monocomponente: superficie fondamentale, superficie di stato, diagrammi (P,T), (P,v), (T,s), (h,s), (P,h). Tabelle ed equazioni. Miscelazioni ideali di gas ideali.

**7) Cicli di lavoro delle macchine termodinamiche.** Cicli a vapore. Ciclo Rankine (ideale) per produzione di potenza meccanica. Surriscaldamento del vapore. Rigenerazione e spillamenti. Analisi delle prestazioni. Cicli a gas e motori a combustione interna. Ciclo Joule, ciclo Otto, ciclo Diesel: analisi delle prestazioni. Cicli frigoriferi a compressione di vapore.

**8) Psicrometria e cenni di climatizzazione ambientale.** Miscela di gas e vapori. L'aria umida: grandezze caratteristiche del miscuglio e diagramma entalpico. Trasformazioni isobare: riscaldamento, raffreddamento, miscelazione, umidificazione e deumidificazione. Diagramma psicrometrico. Trattamenti dell'aria nella climatizzazione ambientale. Scambi energetici e benessere termometrico delle persone. Benessere e qualità dell'aria negli edifici.

**B) TRASMISSIONE DEL CALORE.**

**1) Generalità.** Equazioni di bilancio. Equazioni fenomenologiche. Analisi dimensionali. Meccanismi di scambio termico. Proprietà termofisiche.

**2) Conduzione nei solidi e nei fluidi in quiete.** Equazione di Fourier. Risoluzione dell'equazione di Fourier in alcuni casi di regime stazionario e di regime variabile. Gruppi adimensionali. Aletture.

**3) Convezione.** Nozioni fondamentali di fluidodinamica. Convezione naturale, forzata, mista. Coefficienti di scambio convettivo. Gruppi adimensionali caratteristici. Correlazione ricavate per via sperimentale.

**4) Irraggiamento.** Emissione, propagazione ed assorbimento di energia raggiante. Leggi di Kirchhoff, Plank, Stephan-Boltzmann, Wienn. Scambio termico per irraggiamento sia tra corpi neri che tra corpi grigi. Irraggiamento solare.

**5) Scambiatori di calore.** Classificazione. Equazioni di bilancio energetico. Relazioni di progetto: metodo della differenza media logaritmica di temperatura e metodo del numero di unità di trasporto (NUT). Efficienza degli scambiatori.

### C) ACUSTICA APPLICATA.

**1. Introduzione alle problematiche di acustica applicata.** Acustica atmosferica. Acustica psico-fisica. Grandezze acustiche e apparecchi di misura. Inquinamento da rumore.

#### Esercitazioni

Sono costituite da applicazioni numeriche e da complementi.

#### Modalità d'esame

L'esame è costituito da una prova orale preceduta da una prova scritta.

#### Libri consigliati

Callen: *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics*, 2nd Edition, John Wiley, 1985.

Moran, Shapiro: *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, John Wiley, 1988.

Pedrocchi, Silvestri: *Introduzione alla Termodinamica Tecnica*, 6ª Edizione. CittàStudi, 1991.

Bianchi, Sturlese: *Esercizi di Termodinamica*, CittàStudi, 1991.

Incropera, De Witt: *Fundamentals of Heat Transfer*, John Wiley, 1988.

Guglielmini, Pisoni: *Elementi di Trasmissione del Calore*, Editoriale Veschi, 1990.

Pedrocchi, Silvestri: *Introduzione ai Fenomeni di Trasporto*, CittàStudi, 1992.

Appunti del corso.

## FISICA TECNICA

**AK0003**

(per gli allievi di Ingegneria Biomedica, dei Materiali e Nucleare)

**Prof. Ernesto PEDROCCHI**

#### Programma d'esame

### A) TERMODINAMICA.

**1) Unità di misura:** Definizione di un sistema di unità di misura - Principali sistemi di unità di misura - Principali grandezze usate nella Fisica Tecnica con relative unità di misura.

**2) Sistemi termodinamici:** Sistemi termodinamici e grandezze caratteristiche estensive ed intensive, contorno di un sistema e sue proprietà - Equilibrio.

**3) I principi della termodinamica:** Energia interna e sua misurabilità, lavoro meccanico, calore, formulazione classica e postulativa della termodinamica - Formulazione del 1° principio della termodinamica - Il problema base della termodinamica - L'entropia e le sue proprietà generali (11° principio) - Relazione fondamentale - Equazioni di stato.

**4) Condizioni di equilibrio:** Trasformazioni quasi statiche - Equazione di Eulero e relazioni di Gibbs-Duhem - Problema generale dell'equilibrio di un sistema - Equilibrio termico - Accordo con

il concetto intuitivo di temperatura - Scale di temperatura - Equilibrio termomeccanico - Equilibrio termico e rispetto al flusso di massa - Il principio di minima energia - Calori specifici e coefficienti elastici - Depositi e serbatoi di lavoro e calore.

**5) Processi e macchine termodinamiche:** Processi termodinamici di trasformazione di calore in lavoro (processo diretto) - Bilanci energetici ed entropici - Misurabilità della temperatura - Concetto di energia non disponibile e di lavoro dissipato - Frigoferi e pompe di calore (processo inverso) - La macchina trasformatrice - Analisi entropica di processi ciclici - Rigenerazione.

**6) I potenziali termodinamici:** I potenziali termodinamici - L'energia libera di Helmholtz - L'entalpia - Il potenziale di Gibbs.

**7) Proprietà dei gas:** Gas ideale monocomponente - Proprietà del gas ideale monocomponente - Calori specifici dei gas ideali - Gas reale monocomponente - Il gas ideale multicomponente (miscela di gas ideali).

**8) Proprietà dei liquidi e dei solidi semplici:** Proprietà generali.

**9) Trasformazioni per i sistemi semplici chiusi:** Trasformazioni termodinamiche per i sistemi semplici - Le grandezze termodinamiche - Trasformazione adiabatica isoentropica, isoterma, isoenergetica, isoentalpica (Effetto Joule-Thomson) - Trasformazioni politropiche per gas ideali.

**10) Formulazione generale del bilancio di una grandezza estensiva:** Generalità - Bilancio della massa - Bilancio energetico - Bilancio entropico - Moto dei fluidi nei condotti e termine di degradazione energetica (perdite di carico).

**11) Cicli termodinamici a gas:** Cicli Otto, Diesel, Stirling, Joule, rigenerazione per recupero.

**12) Stabilità deU'equilibrio dei sistemi termodinamici:** Stabilità intrinseca di un sistema monocomponente - Stabilità mutua di un sistema composto da più sottosistemi semplici monocomponenti.

**13) Transizione di fase:** Sistemi omogenei ed eterogenei - Fasi - Regola delle fasi - Transizione di fase del primo ordine in sistemi monocomponenti - Equazioni di Clapeyron-Clausius - Il punto triplo - Il punto critico - Diagrammi di stato delle sostanze pure - Superficie di stato  $P-v-T$ ; piano  $P-T$  e piano  $P-v$  diagramma  $T-s$ ,  $h-s$  (o di Mollier) - Formule approssimate.

**14) Cicli termodinamici con cambiamenti di fase:** Generalità sui cicli a vapore - Ciclo di Rankine a vapore d'acqua, calcolo delle sue caratteristiche energetiche - Rigenerazione per spillamenti - Cicli frigoriferi - Calcolo dei parametri energetici del ciclo frigorifero a compressione.

**15) Exergia:** Entalpia utilizzabile - Ambiente di riferimento e stato morto - Exergia - Rappresentazione grafica - Rendimenti exergetici - Diagrammi di flusso exergetico - Fabbisogni energetici (fonti ed utilizzi).

**16) Miscele di gas e vapori:** Miscele di gas e vapori - L'aria umida - Grandezze caratteristiche e stati di equilibrio dell'aria umida - Il diagramma di Mollier per l'aria umida - Le trasformazioni isobare dell'aria umida - Cenni di condizionamento.

## B) TRASMISSIONE DEL CALORE .

**1) Generalità sui fenomeni di trasporto:** Introduzione - Relazioni di bilancio - I meccanismi del trasporto - Trasporto molecolare di massa - Trasporto molecolare di calore - Trasporto molecolare di quantità di moto - Formulazione generale delle relazioni di trasporto - Trasporto turbolento di massa, calore e quantità di moto - L'analisi dimensionale.

**2) Conduzione di calore:** Relazione di bilancio energetico, equazione di Fourier - Condizioni ai limiti - Piastra piana e parete cilindrica in regime stazionario - Barra con generazione di calore - Problemi di conduzione - Equazione di Fourier in forma adimensionale, numeri di Fourier e di Biot - Regime non stazionario.

**3) Moto di fluidi in condotti:** Generalità - Bilancio globale di massa - Bilancio globale della quantità di moto - Espressione del termine di degradazione energetica - Legame fra termine di degradazione e sforzo tangenziale - Profili di velocità - Effetto camino (cenni).

**4) Trasferimento di calore nei fluidi monofase per convezione:** Coefficiente di trasmissione di calore per convezione - Scambio termico fra due fluidi separati da una parete - Modalità nella trasmissione di calore per convezione - Convezione forzata - Convezione naturale - Validità e approssimazione delle correlazioni dei dati sperimentali - Profilo termico in regime stazionario di una barretta scaldata ad un estremo - Le alettature - La trasmissione del calore convettiva con i metalli liquidi

**5) Trasmissione di calore per irraggiamento:** Generalità - Emissione - Assorbimento - La legge di Kirchhoff - Emissione del corpo nero - Proprietà radiative dei corpi - Calore scambiato per irraggiamento fra corpi neri e corpi grigi - Schermi antiradianti - Irraggiamento solare (superfici selettive).

**6) Scambiatori di calore:** Generalità - Classificazione - Disposizione delle correnti fluide negli scambiatori a contatto indiretto (a superficie) - Coefficiente globale di scambio termico - Bilancio energetico in condizioni stazionarie per scambiatori di calore a contatto indiretto - Disposizione delle correnti fluide e sua influenza sui profili di temperatura - Scambiatori a correnti parallele: determinazione analitica dei profili di temperatura e della potenza termica scambiata - Efficienza degli scambiatori a correnti parallele - Metodi semplificati di valutazione delle prestazioni termiche di scambiatori - Esempi di calcolo.

#### *Esercitazioni*

Sono costituite da applicazioni numeriche e da complementi.

#### *Modalità d'esame*

L'esame è orale su due argomenti: uno di Termodinamica, uno di Trasmissione del calore.

#### *Libri consigliati*

E. Pedrocchi, M. Silvestri: *Introduzione alla Termodinamica Tecnica*, CLUP, Milano.

E. Pedrocchi, M. Silvestri: *Introduzione alla Trasmissione del Calore*, CLUP, Milano.

#### *Libri consigliati per approfondimenti*

F. F. Huang: *Engineering Thermodynamics*, Mac Millan P. Co. Ine.

F. Kreith: *Principi di Trasmissione del Calore*, Liguori Editore.

G. Guglielmini, C. Pisoni: *Elementi di Trasmissione del Calore*, Ed. Veschi.

#### *Eserciziari*

C. Bianchi, F. Sturlese: *Esercitazione di Termodinamica*, CLUP, Milano.

E. Pedrocchi: *Esercizi di Trasmissione del calore*, CUSL, Milano.

G. Guglielmini, E. Nannei, C. Pisoni : *Problemi di Termodinamica Tecnica e Trasmissione del Calore*, Ed. ECIG.

**FISICA TECNICA****AK0003**

(per gli allievi di Ingegneria Civile (geo+idr), Edile

**Prof. Francesco STURLESE***Programma d'esame***A. TERMODINAMICA.****1. Introduzione alla termodinamica:** Natura della termodinamica.

Definizione di sistema termodinamico. Vincoli e pareti. Concetto di equilibrio termodinamico. Lavoro meccanico, lavoro chimico, calore, energia interna. Primo principio della termodinamica. Postulati entropici. Equazione fondamentale in forma entropica ed in forma energetica. Parametri intensivi. Principio di minima energia. Ricerca delle condizioni di equilibrio. Relazioni formali. Stabilità intrinseca dei sistemi monocomponenti.

**2. Formulazione alternative dell'equazione fondamentale e relazioni tra le sue derivate:** Trasformate di Legendre. Potenziali termodinamici: potenziale di Helmholtz, entalpia, potenziale di Gibbs. Proprietà e principi estremanti. Funzioni di Massieu. Proprietà e principi estremanti. Relazioni di Maxwell. Uso degli Jacobiani. Applicazioni.**3. Transizioni di fase:** Sistemi omogenei ed eterogenei. Fasi. Regola delle fasi. Transizioni di fase del primo ordine in sistemi monocomponenti. Equazione di Clapeyron-Clausius. Punto triplo. Punto critico. Diagrammi di stato delle sostanze pure. Transizioni di fase di ordine superiore.**4. Processi e macchine termodinamiche:** Processi quasi statici. Processi reversibili ed irreversibili. Depositi e sorgenti di lavoro e di calore. Macchine termodinamiche. Processi ciclici. Frigoriferi e pompe di calore. Effetti delle irreversibilità nei processi di conversione.**5. Proprietà delle sostanze:** Generalità. Coefficienti di particolare importanza. Proprietà dei gas ideali. Gas ideale multicomponente. Trasformazioni politropiche per i gas ideali. Proprietà dei gas reali. Equazione di stato. Proprietà dei liquidi e dei solidi semplici.**6. Termodinamica tecnica:** Principio di conservazione dell'energia per i continui in moto. Cicli termodinamici a gas. Cicli termodinamici con cambiamento di fase. Cicli frigoriferi. Analisi entropica. Aria umida. Grandezze caratteristiche e stati di equilibrio. Diagramma psicrometrico. Principali processi e trattamenti dell'aria umida. Cenni di condizionamento.**B. FENOMENI DI TRASPORTO.****1. Generalità:** Equazioni di bilancio. Equazioni fenomenologiche. Analisi dimensionale. Meccanismi di scambio termico. Proprietà termofisiche.**2. Conduzione nei solidi e nei fluidi in quiete:** Equazione di Fourier. Adimensionalizzazione dell'equazione di Fourier e delle condizioni al contorno: numeri di Fourier e di Biot. Risoluzione dell'equazione di Fourier in alcuni casi di regime stazionario e di regime variabile. Conduzione con conducibilità termica variabile.**3. Convezione:** Nozioni fondamentali di fluidodinamica. Convezione. Coefficiente di scambio termico convettivo. Convezione naturale, forzata e mista. Gruppi adimensionali caratteristici della convezione. Trasmissione di calore in cambiamento di fase. Fenomenologia dell'ebollizione statica. Fenomenologia dell'ebollizione dinamica. Fenomenologia e trattazione della condensazione con vapori puri.**4. Trasmissione di calore per irraggiamento:** Emissione, propagazione ed assorbimento di energia radiante. Leggi di Kirchhoff, Planck, Stefan-Boltzmann e Wien. Scambio termico radiativo tra corpi neri. Scambio termico radiativo tra corpi grigi. Flusso di energia radiante in mezzi assorbenti. Irraggiamento solare.**5. Scambiatori di calore:** Tipologia: Bilancio energetico globale. Relazioni di progetto. Efficienza. Considerazioni progettuali.

*Esercitazioni*

Sono costituite da applicazioni numeriche e da complementi.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta seguita da una prova orale.

*Libri consigliati*

W. Zemansky: *Calore e Termodinamica*, Zanichelli

M.N. Abbot, H.C. Van Ness: *Termodinamica*, ETAS Libri.

H.B. Callen: *Thermodynamics and an introduction to Thermostatistics*, J. Wiley.

Francis F. Huang: *Engineering Thermodynamics*, Collier McMillan.

C. Bianchi, F. Sturlese: *Esercitazioni di Termodinamica*.

D. R. Pitts, L.E. Sissom: *Teoria e problemi di trasmissione del calore*, Collana SHAUM.

A.J. Chapman: *Heat transfer*, McMillan.

Frank P. Incropera, David P. De Witt: *Introduction to heat transfer*, J. Wiley.

**FISICA TECNICA****AK0003**

(per gli allievi di Ingegneria Elettronica)

**Prof. Giovanni DE GIORGIO**

*Programma d'esame***Parte A: Termodinamica.**

- 1. Introduzione alla Termodinamica.** Definizione di sistema termodinamico, pareti e vincoli, sistemi semplici e composti, interazione termica e meccanica e scambio di massa con l'esterno, energia interna, parametri estensivi, specifici, intensivi.
- 2. I postulati della termodinamica assiomatica.** Postulati entropici, relazione fondamentale in forma entropica ed energetica, relazioni formali, equazioni di Eulero e Gibbs-Duhem, gradi di libertà, condizioni di equilibrio e stabilità per i sistemi semplici e composti.
- 3. Formulazioni alternative della relazione fondamentale e relazioni tra le sue derivate.** Trasformazioni di Legendre, potenziali termodinamici, potenziale di Helmholtz e di Gibbs, entalpia, proprietà e principi estremanti, relazione di Maxwell, tavole di Bridgeman, Jacobiani.
- 4. Trasformazioni dei sistemi chiusi allo scambio di massa.** Trasformazioni quasi statiche o internamente reversibili, reversibilità ed irreversibilità, equazioni di bilancio, descrizione quantitativa delle trasformazioni di maggior interesse.
- 5. Sistemi aperti.** Equazioni di conservazione, relazioni meccaniche e termiche con l'esterno, variazione di entropia del fluido e produzione di entropia complessiva, fenomeni di attrito e termine di degradazione dell'energia meccanica.
- 6. Proprietà delle sostanze.** Generalità, coefficienti di particolare importanza, proprietà dei gas ideali monocomponenti, miscele di gas ideali, gas reali ed equazioni rappresentative, proprietà dei liquidi e dei solidi semplici.
- 7. Transizioni di fase.** Regola delle fasi di Gibbs, transizioni del primo ordine in sistemi monocomponenti, equazione di Clausius-Clapeyron, punto triplo, punto critico, diagrammi di stato, cenni su transizioni di fase di ordine superiore.
- 8. Processi di conversione di energia.** Schema rappresentativo semplificato, depositi quasi statici di calore e lavoro, processi ciclici, processi diretti (conversione di energia termica in meccanica) e

inversi (frigorifero e pompe di calore), rendimenti ed efficienze, effetto delle irreversibilità, considerazioni sulla definizione e misura di temperatura.

**9. Processi ciclici con sistemi a fluido.** Cicli a gas, cicli con transizione di fase, produzione di energia meccanica. Raffreddamento, produzione combinata di energia meccanica e calore, analisi entropica.

**10. Miscele di gas e vapori.** Aria umida, grandezze caratteristiche e stati di equilibrio, diagrammi psicrometrici, principali processi dell'aria umida, condizionamento ambientale.

#### **Parte B: Scambio Termico.**

**1. Generalità.** Meccanismi di scambio termico, proprietà termofisiche.

**2. Conduzione.** Postulato di Fourier, equazione di Fourier, adimensionalizzazione dell'equazione, numeri di Biot e Fourier, risoluzione di alcuni casi di conduzione monodimensionale con conduttività termica costante in regime stazionario e variabile, cenni sui metodi numerici.

**3. Cenni di meccanismi dei fluidi.** Equazioni di conservazione, parametri di similitudine, concetto di strato limite, equazioni di conservazione per lo strato limite laminare, equazioni integrali, turbolenza, flussi e strati limiti turbolenti, flussi all'interno di condotti.

**4. Convezione.** Coefficiente di scambio termico convettivo, convezione naturale e forzata, gruppi adimensionali caratteristici, convezione esterna e convezione all'interno di condotti.

**5. Irraggiamento.** Generalità, leggi di Kirchhoff, Planck, Stefan-Boltzmann, Wien, proprietà termo-ottiche delle superfici e dei corpi, intensità di radiazione, fattori di forma, scambio termico radiativo tra superfici nere e grigie in mezzi non assorbenti, cenni di scambio termico in mezzi assorbenti.

**6. Scambiatori di calore.** Tipologia, bilanci energetici, efficienza, relazioni tra le grandezze significative e considerazioni progettuali.

**7. Presenza contemporanea di differenti modalità di scambio termico.** Scambio termico tra edifici ed ambiente circostante.

#### *Libri consigliati*

Si consiglia di preparare l'esame sugli appunti del docente. Per eventuali consultazioni si segnalano:

Parte A:

M. Modell, R.C. Reid: *Thermodynamics and its Applications*, Prentice Hall, 1983.

M.J. Moran, H.N. Shapiro: *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, Wiley, 1988.

Parte B:

A.J. Chapman: *Heat Transfer*, McMillan, 1984.

T.A. Markus, E.N. Morris: *Buildings, Climate and Energy*, Pitman, 1980.

## **FISICA TECNICA**

**AK0003**

(per gli allievi di Ingegneria Elettrotecnica, Informatica)

**Prof. Giancarlo GIAMBELLI**

#### *Programma d'esame*

##### **A) Termodinamica.**

- Sistema termodinamico - Contorno - Grandezze di stato - Equazioni di stato - Gas reali e gas perfetti.

- La temperatura: definizione e misure - Termometro a gas - Scale di temperatura.

- Le interazioni tra sistema e ambiente: scambi energetici e trasformazioni termodinamiche - Il primo principio della Termodinamica - Calori specifici e trasformazioni politropiche -

- La termodinamica del sistema fluente: fluidi comprimibili ed incompressibili - La funzione entalpia.

- Secondo principio: le trasformazioni cicliche, rendimento termodinamico, la funzione entropia, equilibri termodinamici e funzioni estremanti, valutazione dell'irreversibilità ed energia disponibile.
- Sviluppo del formalismo termodinamico: i potenziali termodinamici e le relazioni di Maxwell, i coefficienti termodinamici.
- Diagrammi termodinamici per le sostanze pure ( $p - V$ ;  $h - s$ ;  $p - s$ ;  $T - h$ ): diagramma di Mollier per il vapor d'acqua, diagramma  $p - h$  per l'ammoniaca.
- Compressori, pompe, turbine, macchine a vapore - Ciclo Rankine, Ciclo Otto e diesel - Ciclo Joule - Ciclo frigorifero - Pompe di calore - Cicli combinati - Cogenerazione.
- Liquefazione dei gas - effetto Joule-Thompson - Miscele di gas a vapore - Aria umida - Diagrammi psicrometrici - Trattamenti dell'aria - Misure dell'umidità - Cenni di condizionamento.
- Il problema dell'energia: uso razionale della stessa - Rendimenti di primo e secondo principio.

#### **B) Trasmissione del calore.**

- Conduzione: ipotesi e equazione di Fourier, il problema differenziale, integrazione dell'equazione di Fourier in regime transitorio e stazionario per alcuni casi semplici, metodi grafonumerici di soluzione dei problemi di conduzione.
- Convezione: legge di Newton, metodi dimensionali, numeri adimensionali caratteristici, dati sperimentali - Scambiatori di calore.
- Irraggiamento: corpo nero, Legge di Stephan, di Kirchoff e di Wien - scambio di calore per irraggiamento tra corpi neri e non neri per alcune geometrie semplici - Fattore di forma - Irraggiamento e convezione - Irraggiamento solare - Energia solare.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni prevedono l'impostazione e la soluzione numerica di problemi termodinamici e di trasmissione del calore.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale nella quale lo studente è chiamato a risolvere un problema e a dimostrare la conoscenza dei fondamenti della materia, specificati nel programma di esame. E' indispensabile il corretto impiego di diagrammi e tabelle termodinamiche e il corretto impiego delle unità di misura.

#### *Libri consigliati*

- G. Giambelli: *Lezioni di Fisica Tecnica: I Termodinamica, II Trasmissione di calore*, Masson Editore, Milano
- G. Giambelli, C. Magli: *Fisica Tecnica, Esercizi*, CLUP Milano
- G. Dassù: *Appunti di Fisica Tecnica: Termodinamica* - CUSL Milano
- G. Dassù, F. Sturlese: *I principi della termodinamica* - CUSL Milano
- G. Dassù: *Appunti di Fisica Tecnica: Trasmissione del calore* - CUSL Milano
- M.W. Zemansky, M.N. Abbot, H.C. Van Ness: *Fondamenti di termodinamica per ingegneri*, Zanichelli Bologna.
- A.J. Chapman: *Heat Transfer* - Mac Millan, New York

Le precedenze d'esame sono affisse all'Albo della Presidenza della Facoltà.

Il rispetto delle precedenze d'esame costituisce condizione vincolante per la regolarità dell'esame: il mancato rispetto delle precedenze comporta automaticamente l'annullamento dell'esame.

**FISICA TECNICA****AK0003**

(per gli allievi di Ingegneria Gestionale)

**Proff. Sergio AROSIO, Salvatore MARTORANA***Programma d'esame***A) TERMODINAMICA.**

- Sistema termodinamico - Contorno - Grandezze di stato - Equazioni di stato.
- Le interazioni tra sistema ed ambiente: scambi di calore, di lavoro, di massa.
- Il bilancio energetico per i sistemi chiusi e per i sistemi aperti (primo principio).
- Calori specifici e trasformazioni politropiche.
- Bilanci entropici per i sistemi chiusi e per i sistemi aperti (secondo principio): trasformazioni cicliche, rendimento termodinamico, equilibrio termodinamico, energia, temperatura termodinamica.
- Il sistema monocomponente monofase e bifase.
- I diagrammi di stato per la sostanza pura: diagramma P,T; diagramma P,v; diagramma T,s; diagramma h,s per l'acqua; diagramma P,h per l'ammoniaca.
- Le tabelle termodinamiche: le tabelle per il vapore d'acqua e per i fluidi frigoriferi.
- I cicli delle macchine a gas e a vapore: Otto, Diesel, Joule, Rankine, cicli frigoriferi.
- Le macchine aperte (turbine a gas e a vapore-compressori-pompe).
- Sviluppo del formalismo termodinamico: i potenziali termodinamici, equazioni di stato e i coefficienti termodinamici, le relazioni di Maxwell.
- La liquefazione dei gas.
- Gas perfetti e gas reali
- Efflusso di gas e vapori.
- Sistemi a due o più componenti: miscele di gas perfetti, miscele di gas e vapori (aria umida) - Cenni di condizionamento.

**B) TRASMISSIONE DEL CALORE.**

- Conduzione: ipotesi ed equazione di Fourier, il problema differenziale, integrazione dell'equazione di Fourier per casi monodimensionali in geometria piana e cilindrica (in regime stazionario e transitorio). - Le superfici alettate.
- Metodi numerici e grafonumerici per la soluzione dei problemi di conduzione.
- Convezione: cenni di termofluidodinamica; legge di Newton; il metodo di Buckingham per la determinazione dei numeri adimensionali caratteristici; relazioni sperimentali e loro impiego.
- Scambiatori di calore in equicorrente e in controcorrente.
- Irraggiamento: unità di misura e simboli; le leggi di emissione del corpo nero; coefficienti di riflessione, di trasparenza e di assorbimento: i corpi lambertiani e le superfici selettive; legge di Kirchhoff; fattore di forma o di vista; scambio di calore tra corpi neri e tra corpi grigi uniformemente diffondenti. L'irraggiamento solare. I pannelli solari.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni prevedono la soluzione numerica di problemi di termodinamica e di trasmissione del calore.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta che dà accesso, se sufficiente, alla prova orale. Le due prove devono essere sostenute nel medesimo appello o in due appelli successivi.

La prova scritta, se consegnata, può essere sostenuta al massimo due volte nel corso della medesima sessione.

*Libri consigliati***Termodinamica** (Prof. G. Dassù)

G. Dassù: *Appunti di Fisica Tecnica: Termodinamica*, CUSL, Milano.

G. Dassù, F. Sturlese: *I principi della Termodinamica*, CUSL, Milano.

M.W. Zemansky: *Calore e Termodinamica*, Voi. I, Zanichelli, Bologna.

A. Niro, G. Dassù: *Esercizi di Termodinamica*, CUSL, Milano.

C. Bianchi, F. Sturlese: *Esercitazioni di Termodinamica*, CittàStudi, Milano.

**Trasmissione del calore**

G. Dassù: *Appunti di Fisica Tecnica: Trasmissione del Calore*, CUSL, Milano.

K. Kreith: *Principi di trasmissione del calore*, LIGUORI, Napoli.

**FISICA TECNICA****AK0003**

(per gli allievi di Ingegneria Meccanica)

**Proff. Alfonso NIRO, Giorgio SOTGIA***Programma d'esame***A. TERMODINAMICA**

**1. Introduzione alla termodinamica:** Natura della termodinamica. Definizione di sistema termodinamico. Vincoli e pareti. Concetto di equilibrio termodinamico. Lavoro meccanico, lavoro chimico, calore, energia interna. Primo principio della termodinamica. Postulati entropici. Equazione fondamentale in forma entropica ed in forma energetica. Parametri intensivi. Principio di minima energia. Ricerca delle condizioni di equilibrio. Relazioni formali. Stabilità intrinseca dei sistemi monocomponenti.

**2. Formulazioni alternative dell'equazione fondamentale e relazioni tra le sue derivate:** Trasformate di Legendre. Potenziali termodinamici: potenziale di Helmholtz, entalpia, potenziale di Gibbs. Proprietà e principi estremanti. Relazioni di Maxwell. Uso degli Jacobiani. Applicazioni.

**3. Transizioni di fase:** Sistemi omogenei ed eterogenei. Fasi. Regola delle fasi. Transizioni di fase del primo ordine in sistemi monocomponenti. Equazione di Clapeyron-Clausius. Punto triplo. Punto critico. Diagrammi di stato delle sostanze pure. Transizioni di fase di ordine superiore.

**4. Processi e macchine termodinamiche:** Processi quasi statici. Processi reversibili ed irreversibili. Depositi e sorgenti di lavoro e di calore. Macchine termodinamiche. Processi ciclici e loro proprietà. Frigoriferi e pompe di calore. Effetti delle irreversibilità nei processi di conversione.

**5. Proprietà delle sostanze:** Generalità. Coefficienti di particolare importanza. Proprietà dei gas ideali. Gas ideale multicomponente. Trasformazioni politropiche per i gas ideali. Proprietà dei gas reali. Equazioni di stato. Proprietà dei liquidi e dei solidi semplici.

**6. Termodinamica tecnica:** Bilanci globali delle grandezze estensive nei sistemi fluenti. Principi di conservazione della massa e dell'energia. Bilancio dell'entropia. Rendimenti delle macchine. Analisi monodimensionale dell'efflusso in regime stazionario di fluidi comprimibili. Numero di Mach. Cicli termodinamici e il concetto di rigenerazione.

Cicli termodinamici a gas, cicli termodinamici con cambiamento di fase, cicli frigoriferi. Analisi entropica. Aria umida. Grandezze caratteristiche e stati di equilibrio. Diagramma psicrometrico. Principali processi e trattamenti dell'aria umida. Cenni di condizionamento.

**B. TRASMISSIONE DEL CALORE**

**1. Generalità:** Equazioni di bilancio. Equazioni fenomenologiche. Analisi dimensionale. Meccanismi di scambio termico. Proprietà termofisiche.

**2. Conduzione:** Equazione di Fourier. Adimensionalizzazione dell'equazione di Fourier e delle condizioni al contorno: numeri di Fourier e di Biot. Risoluzione dell'equazione di Fourier in alcuni casi di regime stazionario e di regime variabile. Conduzione con conduttività termica variabile.

**3. Convezione:** Nozioni fondamentali di fluidodinamica. Convezione. Coefficiente di scambio termico convettivo. Convezione naturale, forzata e mista. Gruppi adimensionali caratteristici della convezione. Cenni alla trasmissione di calore in cambiamento di fase.

**4. Trasmissione del calore per irraggiamento:** Emissione, propagazione ed assorbimento di energia radiante. Leggi di Kirchhoff, Planck, Stefan-Boltzmann e Wien. Scambio termico tra radiatori diffusi. Flusso di energia radiante in mezzi assorbenti. Irraggiamento solare.

**5. Scambiatori di calore:** Tipologia. Bilancio energetico globale e locale. Relazioni di progetto. Efficienza. Considerazioni progettuali. Metodi di valutazione delle prestazioni.

#### *Esercitazioni*

Sono costituite da applicazioni numeriche e da complementi.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

#### *Libri consigliati*

- G. Muzzio, G. Sotgia: *Lezioni di Fisica Tecnica*, Spiegel, Milano.
- E. Pedrocchi, M. Silvestri: *Introduzione alla termodinamica tecnica*, CLUP, Milano.
- E. Pedrocchi, M. Silvestri: *Introduzione alla trasmissione del calore*, CLUP, Milano.

#### *Libri consigliati per approfondimenti*

- W. Zemansky: *Calore e Termodinamica*, Zanichelli.
- H.B. Callen: *Termodinamica*, Tamburini.
- F.F. Huang: *Engineering Thermo dynamics*, Mac Millan P. Co. Ine.
- F. Kreith: *Principi di trasmissione del calore*, Liguori Editore.
- G. Guglielmini, C. Pisoni: *Elementi di Trasmissione del calore*, Ed. Veschi.

#### *Eserciziari*

- C. Bianchi, F. Sturlese: *Esercitazione di Termodinamica*, CLUP, Milano.
- G. Guglielmini, E. Nannei, C. Pisoni: *Problemi di Termodinamica Tecnica e Trasmissione del Calore*, Ed. ECIG.
- E. Bettanini, F. De Ponte: *Problemi di Trasmissione del Calore*, Patron, Padova.

## **FISICA TECNICA**

**AK0003**

(per gli allievi di Ingegneria delle Telecomunicazioni)

**Prof. Ugo BIELLI**

#### *Programma d'esame*

### **Parte Prima: TERMODINAMICA.**

#### **1) Definizioni, postulati e relazioni di base.**

I sistemi termodinamici e le grandezze macroscopiche che li caratterizzano. Il postulato sull'energia interna. Contorni e pareti, sistemi semplici e composti. Gli stati di equilibrio. L'equazione fondamentale e il postulato della massima entropia. Temperatura, pressione, potenziale chimico. I flussi ener-

getici quasi statici: calore, lavoro meccanico, lavoro chimico. Le relazioni di Eulero e di Gibbs-Duhem. Il raggiungimento deirequilibrio nei sistemi composti e le condizioni di equilibrio. I calori specifici e i coefficienti di comprimibilità e di dilatazione. I potenziali termodinamici.

## 2) La termodinamica degli stati di equilibrio.

Le forme quadratiche e le loro proprietà. L'individuazione dei possibili stati di equilibrio dei sistemi monocomponenti: A) gli stati omogenei, le grandezze che li caratterizzano e le loro proprietà; i casi particolari: i gas ideali (equazioni di stato, calori specifici, trasformazioni politropiche, ecc.), i gas reali (cenno alle principali equazioni di stato), gli stati condensati ideali. B) gli stati bifasi: l'equazione di Clausius-Clapeyron, le transizioni di fase, ecc.. C) gli stati tripli - Estensione ai sistemi pluricomponenti: la regola delle fasi di Gibbs. Il cambiamento di variabili in termodinamica. Il caso generale e il caso particolare degli stati omogenei: gli jacobiani e l'espressione delle derivate termodinamiche in funzione di T e P. Le forme alternative dell'equazione fondamentale e le relazioni di Maxwell. I diagrammi di stato: il diagramma spaziale P-v-T e le sue proiezioni sui piani coordinati; le formule approssimate (per l'acqua); i diagrammi T-s, In P-h, e di Mollier.

## 3) La termodinamica dei processi.

Processi reversibili e irreversibili. Trasformazioni non quasi statiche. Le sorgenti termodinamiche e i flussi energetici non quasi statici. Il 1° principio. I processi ciclici e il 2° principio negli enunciati di Kelvin e di Clausius. Le macchine termodinamiche motrici e i frigoriferi. I concetti di rendimento e di efficacia. Il nodo centrale delle macchine e i modi in cui si realizza: trasformazione ciclica del fluido che lo percorre. L'equazione dell'energia per il moto dei fluidi nei condotti e i casi particolari che interessano le macchine termodinamiche. Il ciclo di Camot e le sue peculiarità. Le macchine motrici a cilindro e stantuffo, i cicli Otto e Diesel, la loro realizzazione pratica e note tecniche relative. Le macchine motrici a flusso continuo, i cicli Joule e Rankine e i loro impieghi nella tecnica (impianti termoelettrici, ecc.). Le macchine frigorifere e le pompe di calore. La rigenerazione e il suo impiego nelle macchine. Speciali processi di interesse tecnologico (liquefazione dei gas, frigoriferi ad assorbimento, ecc.)

## 4) Particolari sistemi termodinamici e processi che li interessano.

- a) Miscele di gas ideali. I teoremi di Gibbs, le equazioni di stato, le pressioni parziali e la legge di Dalton, le trasformazioni, le miscele di gas ideali e l'entropia di miscelazione.
- b) Miscele di gas e vapori. L'aria umida e le principali grandezze che la caratterizzano, il diagramma di Mollier, le trasformazioni isobare, il condizionamento dell'aria.

## Parte seconda: FENOMENI DI TRASPORTO.

### 1) I meccanismi elementari di trasporto.

Trasporto molecolare e turbolento di massa, di calore e di quantità di moto. Relazioni fondamentali di bilancio. La teoria della similitudine e l'analisi dimensionale.

### 2) La conduzione.

L'equazione di Fourier nei vari sistemi di coordinate e la sua risoluzione in alcuni casi pratici sia a regime permanente che a regime variabile. Problemi di conduzione.

### 3) Il moto dei fluidi nei condotti.

Le equazioni di continuità, della quantità di moto e dell'energia. Il termine di degradazione energetica e il suo legame con gli sforzi tangenziali e le perdite di carico. I profili di velocità. Le macchine a fluido: ruote idrauliche e turbine; pompe e compressori. Strumenti di misura: tubo di Venturi, tubo di Pitot.

### 4) La convezione.

Il coefficiente liminare nella convezione naturale e forzata. Le correlazioni fra numeri adimensionali. Lo scambio termico tra due fluidi separati da una parete. Il coefficiente convettivo dei gas e dei liquidi poco viscosi e di bassa conduttività. Le alettature.

**5) L'irraggiamento.**

Assorbimento ed emissione di energia radiante. Le leggi di Kirchhoff, Planck, Stefan-Boltzmann e Wien. Calore scambiato per irraggiamento tra corpi neri e tra corpi grigi. Gli schermi antiradian-ti. L'irraggiamento solare. L'assorbimento di energia radiante nei mezzi trasparenti. La trasmissione del calore, attraverso le pareti opache e trasparenti irraggiate. Problemi misti di conduzione, convezione e irraggiamento.

**6) Gli scambiatori di calore.**

Il bilancio energetico globale di uno scambiatore. Il calcolo delle superficie di scambio. Le curve di temperatura, l'efficienza degli scambiatori.

*Esercitazioni*

Sono costituite da applicazioni numeriche e da complementi.

*Modalità d'esame*

L'esame consisterà in una prova orale.

*Libri consigliati*

Per la Parte Prima saranno disponibili delle Dispense del Docente.

Per la Parte Seconda si consiglia il testo: E.Pedrocchi, M.Silvestri: *Introduzione ai fenomeni di trasporto*, CLUP, Milano.

Altri testi verranno via via segnalati durante il corso.

**FISICA TECNICA (1/2 annualità)****AK0103****Prof. Giorgio SOTGIA***Programma d'esame***Termodinamica.****FONDAMENTI:**

Sistema termodinamico. Pareti e vincoli. Lavoro: definizione. L'energia interna: definizione, misurabilità. Principio di conservazione dell'energia in forma estesa. Equilibrio termodinamico. Grandezze estensive ed estensive specifiche. I postulati entropici. Trasformazioni quasi statiche. Grandezze intensive. Depositi quantistici di calore e lavoro. Lavoro e calore lungo trasformazioni quasi statiche. Bilancio entropico per sistemi isolati. Le equazioni di stato. Descrizione di sistemi di cui non si conosce la relazione fondamentale. Equilibrio di un sistema composto isolato. Equazione di Eulero. Equazione di Gibbs-Duhem. Gradi di libertà termodinamici. I potenziali termodinamici. Significato fisico dei potenziali. Relazioni di Maxwell. Applicazione delle relazioni di Maxwell e trasformazioni per sistemi chiusi. Effetto Joule-Thompson. Stabilità dell'equilibrio di un sistema semplice omogeneo. Equilibrio dei sistemi eterogenei: regola delle fasi. Transizioni di fase. Equazione di Clausius-Clapeyron.

**APPLICAZIONI:**

Il gas ideale monocompetente. Proprietà del gas ideale. I calori specifici. Le trasformazioni poliotropiche. I gas reali (cenni).

Diagrammi di stato delle sostanze pure: Spazio P-v-T, piani P-T, P-V; il punto triplo, il punto critico. Diagrammi T-S. Diagramma di Mollier per il vapor d'acqua.

Le macchine termodinamiche. Parametri di merito di una macchina. Processi di massimo lavoro.

I sistemi aperti: definizione di regime stazionario; bilancio di massa; bilancio energetico; bilancio entropico. Applicazione alle macchine a fluido. Applicazione al moto dei fluidi in condotti. I cicli a gas: cicli Joule. La rigenerazione nei cicli a gas. Cicli a vapore: generalità. Il ciclo Rankine. Cicli frigoriferi.

Concetto di Exergia: rendimenti exergetici.

Miscela di gas e vapori: l'aria umida. Grandezze caratteristiche dell'aria umida. Il diagramma di Mollier dell'aria umida. Le trasformazioni dell'aria umida. Cenni di condizionamento.

### **Trasmisone del calore.**

Generalità sui fenomeni di trasporto: analogie formali delle equazioni descriventi i meccanismi di trasporto. L'analisi dimensionale.

Introduzione alla conduzione del calore: il postulato di Fourier in forma generalizzata. Il bilancio energetico: L'equazione di Fourier. La conduzione in regime stazionario: Geometria piana; la lastra piana, la parete multistrato (con generazione). Geometria cilindrica: cilindro con generazione (Condizioni al contorno e soluzione); tubo isolato, raggio critico.

La conduzione in regime variabile. Metodo delle capacità concentrate. Il solido seminfinito. I diagrammi di Heisler. Il moto dei fluidi in condotti. Il bilancio della qualità di moto. Sforzo tangenziale: legame con il termine di degradazione energetica. Profili di velocità.

Trasmissione del calore per convezione: coefficiente di trasmissione del calore per convezione. Leggi di Newton. Resistenza termica complessiva. Convezione forzata: calcolo del coefficiente convettivo; Numeri adimensionali (Re, Pr, Nu). Correlazioni. Convezione naturale: cenni. Il numero di Grashof. Alettature; efficienza d'aletta.

Irraggiamento, potere emissivo, Brillanza, Irradiazione. Il corpo nero: Leggi di Planck, Stefan Boltzmann, Wien. Intensità di radiazione. Grandezze monocromatiche angolari e globali. I coefficienti di assorbimento, riflessione e trasmissione. Il coefficiente di emissione. Legge di Kirchhoff.

Il corpo grigio. Scambio di calore tra corpi neri: il fattore di forma. Scambio di calore tra corpi grigi: superfici piane infinite affacciate. Schermi antiradianti.

Gli scambiatori di calore: definizioni e generalità. Bilancio energetico in condizioni stazionarie. Determinazione dei profili di temperatura e di potenza scambiata:  $A-T$  medio logaritmico. Efficienza di uno scambiatore: Metodo  $\epsilon - NTU$ .

### *Libri consigliati*

H.B. Callen: *Thermodynamics and an introduction to Thermostatistics*, J. Wiley.

F.F. Huang: *Engineering Thermodynamics*, Maxwell MacMillan.

Incropera-DeWitt: *Fundamentals of Heat and Mass transfer*, John Wiley & Sons.

Bianchi-Sturlese: *Esercitazioni di Termodinamica*, CLUP.

## **FISICA TECNICA + MACCHINE**

**AK0107**

**Proff. Lorenzo PAGLIANO, Matteo PEROTTI**

### *Programma d'esame*

#### **1) TERMODINAMICA.**

Sistemi e grandezze termodinamici. Stati. Lavoro meccanico, lavoro chimico, calore, energia interna.

Il primo principio della termodinamica. Il secondo principio della termodinamica e la funzione entropia. Le condizioni di equilibrio e la stabilità dei sistemi. Equazioni di stato, transizioni di fase e diagrammi di stato.

**2) PROCESSI E MACCHINE TERMODINAMICHE.**

Processi quasi statici, reversibili ed irreversibili. Processi ciclici. Macchine termodinamiche motrici ed operatrici (frigoriferi e pompe di calore). Analisi entropica dei processi ciclici.

**3) TERMODINAMICA DEI SISTEMI FLUENTI.**

I principi di conservazione ed il bilancio entropico. Cicli termodinamici a gas. Cicli termodinamici con cambiamento di fase. Cicli frigoriferi.

**4) TRASMISSIONE DEL CALORE.**

I meccanismi di scambio termico. Equazioni di bilancio ed equazioni fenomenologiche. Proprietà termofisiche. L'analisi dimensionale. Fondamenti di conduzione, convezione ed irraggiamento. Gli scambiatori di calore.

**5) PROCESSI NELLE MACCHINE.**

Interazioni tra gli organi delle macchine ed il fluido di lavoro. Classificazione ed indici caratteristici.

**6) MACCHINE A FLUIDO INCOMPRIMIBILE.**

Caratteristiche di turbine idrauliche e pompe. Circuiti idraulici. Trasmissioni di potenza a fluido. Turbine eoliche. Ventilatori.

**7) COMPRESIONE ED ESPANSIONE DI FLUIDI COMPRIMIBILI.**

Turbocompressori centrifughi e assiali, compressori volumetrici, turbine assiali e radiali: principi e caratteristiche operative. Similitudine delle macchine e parametri adimensionali.

**8) IMPIANTI MOTORI CON TURBOMACCHINE.**

Macchine a vapore.

Impianti a vapore saturo, a vapore surriscaldato, a surriscaldamenti ripetuti.

Turbine a gas.

Applicazioni industriali ed aeronautiche. Cicli combinati gas-vapore.

**9) MOTORI ALTERNATIVI A COMBUSTIONE INTERNA.**

Caratteristiche e campi d'impiego del motore ad accensione comandata e del Diesel. Alimentazione dell'aria e del combustibile. Processi di combustione.

**10) MACCHINE FRIGORIFERE E POMPE DI CALORE.**

Analisi dei componenti e delle prestazioni degli impianti.

**11) IMPATTO AMBIENTALE.**

Inquinamento legato alla generazione di potenza meccanica mediante macchine a fluido.

*Libri di testo*

Muzzio, Sotgia, *Lezioni di Fisica Tecnica-Termodinamica*, Spiegel.

E. Pedrocchi, M. Silvestri: *Trasmissione del calore*, CittàStudi, Milano.

E. Macchi, *Richiami di Termofluidodinamica Applicata alle Macchine*, CittàStudi, Milano.

G. Cornetti, *Macchine Idrauliche*, Il Capitello Torino.

G. Cornetti, *Macchine Termiche*, Il Capitello Torino.

**FISIOLOGIA UMANA****AA0011****Prof. Giuseppe MISEROCCHI***Programma d'esame*

**1. NOTE DI BIOCHIMICA E BIOENERGETICA CELLULARE.** Le biomolecole. Reazioni chimiche nelle cellule viventi. Rapporti tra biomolecole e struttura cellulare. Le proteine: aminoacidi fondamentali; struttura; tipi di conformazione. Gli enzimi: meccanismi di reazione. I lipidi. Strutture lipoproteiche: la membrana cellulare. Zuccheri: mono-, di- e polisaccaridi. I proteoglica-

ni. Ormoni e vitamine. I nucleotidi e polinucleotidi. DNA e RNA. Virus. Formazione di energia dal legame fosforico: il ciclo delPATP. Glicolisi. Ciclo degli acidi tricarbossilici. Fosforilazione ossidativa. Ossidazione degli acidi grassi. Degradazione degli aminoacidi. Replicazione, trascrizione e traduzione dell'informazione genetica.

2. TESSUTI E MEMBRANE BIOLOGICHE. Forma, dimensione, struttura delle cellule, struttura e funzione della membrana citoplasmatica. Citoplasma e corpuscoli citoplasmatici. Vari tipi di cellule: morfologia e funzione. Struttura della matrice interstiziale. Trasporti di liquidi e soluti: controllo del liquido interstiziale, ruolo del sistema linfatico.

3. FISILOGIA DEL TESSUTO NERVOSO. Neuroni e glia; potenziale di membrana, eccitabilità cellulare, potenziale di azione. Interazioni neuronali: trasmissione sinaptica, recettori sinaptici. Fisiologia delle cellule sensoriali, codificazione e trasmissione del segnale nervoso. Modelli elettrici di trasmissione del segnale nervoso. Organizzazione funzionale del sistema nervoso; i riflessi. Sistema nervoso autonomo.

4. VIE DI UTILIZZO DELL'OSSIGENO. Cenni di fluidodinamica ed emodinamica. Fisiologia dell'apparato cardiorespiratorio. Fisiologia del tessuto muscolare; metabolismo ed energetica delle attività fisiche.

5. VITA ED ADATTAMENTO IN AMBIENTI ESTREMI. Alta quota, immersione, calore, freddo.

6. FISILOGIA RENALE. Bilancio idrico salino ed equilibrio acido-base.

7. APPARATO DIGERENTE. Funzioni di digestione ed assorbimento; ruolo del pancreas e del fegato.

8.1 FARMACI. Meccanismo d'azione, vie di somministrazione dei principali farmaci.

9. ELEMENTI DI RADIOBIOLOGIA.

#### *Testi consigliati*

#### TESTI DI FISILOGIA

J.H. Green: *Introduzione alla fisiologia umana*, Ed. Zanichelli.

Patton, Fuchs, Hille, Scher e Steiner: *Trattato di fisiologia*, Casa Editrice Ambrosiana.

A.C. Guyton: *Trattato di fisiologia medica*, Piccin ED.

R.M. Berne e M.N. Levy: *Fisiologia*, Zanichelli.

#### TESTI DI APPROFONDIMENTO MONOGRAFICO

A.L. Lehninger: *Biochimica*, Ed. Zanichelli.

E.R. Kandel e J.H. Schwartz: *Principles of Neural Sciences*, Ed. Elsevier.

R. Weibel: *The Pathway for Oxygen: Structure and function of the mammalian respiratory System*, Harvard University Press.

A.C. Burton: *Fisiologia e Biofisica della Circolazione*, Il pensiero scientifico Editore.

J.B. West: *Fisiologia della respirazione*, Piccin.

R.F. Schmidt: *Fondamenti di Neurofisiologia*, Zanichelli.

**FLUIDODINAMICA****000830****Prof. Arturo BARON***Programma d'esame*

**Proprietà dei fluidi.** Definizione di fluido. Proprietà fisiche e termodinamiche. Il modello di gas della teoria cinetica. Equazioni di stato.

**Proprietà cinematiche e vettoriali.** Velocità, portata, flusso, vorticità, circolazione. Linee di flusso, tracce, traiettorie. Velocità di deformazione.

**Equazioni del moto dei fluidi.** Punto di vista Euleriano e Lagrangiano. Principio di conservazione della massa: equazione di continuità in forma integrale e indefinita. Teorema della quantità di moto: Equazioni di Navier-Stokes in forma integrale e indefinita. Principio di conservazione dell'energia totale: equazione dell'energia in forma integrale e indefinita. Fluidi newtoniani. Equazioni costitutive. Condizioni iniziali e al contorno.

**Soluzioni esatte delle equazioni di N-S.** Correnti di Newton, Couette, Poiseuille. Vortice di Lamb e vortici ideali piani.

**Correnti turbolente.** Cenni alla stabilità e alla transizione delle correnti laminari. Gli esperimenti di Reynolds. Scale spaziali, temporali e spettri. La cascata energetica. La dipendenza dal numero di Reynolds.

**Simulazione numerica di correnti turbolente.** Cenni alla Direct Numerical Simulation. Le equazioni mediate di Reynolds: il concetto di viscosità turbolenta, modelli di turbolenza ad una e a due equazioni. Cenni alla Large Eddy Simulation.

**Casi particolari delle equazioni di moto per fluidi a proprietà costanti.** Teorema di Bemoulli. Equazione del potenziale cinetico e condizioni al contorno. Statica dei fluidi: principi di Pascal, di Archimede, legge di Stevino.

**Lo strato limite.** Le ipotesi di Prandtl e il concetto di strato limite. Equazioni indefinite per gli strati vorticosi sottili. Strato limite laminare e turbolento. Parametri integrali dello strato limite. Separazione dello strato limite.

**Similitudine dinamica.** Parametri adimensionali: significato fisico. Equazioni di Navier-Stokes in forma adimensionale. Parametri adimensionali e simulazione fisica.

**Tecniche di visualizzazione.** Principi generali. Uso di traccianti solidi, liquidi e gassosi. Produzione di traccianti per via elettrochimica. Traccianti fotosensibili. Analogia idraulica. Visualizzazioni su superfici solide. Metodi ottici: indice di rifrazione e densità, Shadowgraph, Schlieren e interferometro. Tecniche di illuminazione e di ripresa fotografica.

**Misura di grandezze fluidodinamiche.** Misure dirette e indirette. Errori di misura. Sensibilità. Catene di misura e funzioni di trasferimento. Tempi di risposta. Calibrazione. Acquisizione dei dati. Misure di forza. Misure di pressione: sonde e prese, scanivalves, trasduttori, manometri. Misure di velocità: tubo di Pitot, anemometro a filo caldo e velocimetro laser.

**Impianti per la sperimentazione fluidodinamica.** Gallerie a vento ed idrodinamiche. Tipologia degli impianti. Qualità di vena e livelli di turbolenza. Cause e rimedi alla disuniformità e non stazionarietà della corrente. Perdite di carico distribuite e concentrate. Scelta e dimensionamento della girante. Criteri di progetto di gomiti, diffusori e convergenti. Griglie e raddrizzatori.

*Libri consigliati*

A.H. Shapiro: *Profdi veloci*, Zanichelli, Bologna, 1968.

E. Mattioli: *Aerodinamica*, Levrotto e Bella, Torino, 1988.

K. Karamcheti: *Principles of Ideal-Fluid Aerodynamics*, Krieger Pubi. Co., Malabar, Florida, 1980.

T. Cebeci, P. Bradshaw: *Momentum Transfer in Boundary Layers*, Hemisphere - Me Graw-Hill, 1977.

H. Tennekes, J.L. Lumley: *A First Course in Turbulence*, The MIT Press, 1972.

P. Bradshaw: *An Introduction to Turbulence and its Measurements*, Pergamon Press, 1971.  
 M. Van Dyke: *An Album of Fluid Motion*, The Parabolic Press, Stanford, California, 1982.  
 W. Merzkirch: *Flow Visualization*, Academic Press, 1974.  
 R. Goldstein: *Fluid Mechanics Measurements*, Hemisphere Pubi.Co., Springer-Verlag, 1983.  
 I.E. Idepcik: *Memento des pertes de charge*, Eyrolles Editeur, Parigi, 1960. Pubblicato in inglese con il titolo *Handbook of Hydraulic Resistance*. da Hemisphere Pubi.Co., 1986.

#### *Dispense del corso*

Le dispense coprono alcuni degli argomenti trattati nel corso. Non sono sufficienti per ottenere una preparazione completa e devono essere integrate da appunti.

#### *Esercitazioni*

Parte delle esercitazioni si basa sulla proiezione e sul commento di filmati che illustrano fenomeni fluidodinamici fondamentali.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta ed in un colloquio orale.

## **FLUIDODINAMICA NUMERICA** **Prof. Luigi QUARTAPELLE**

**AL0116**

#### *Programma d'esame*

##### **Generalità:**

Caratteristiche matematiche delle equazioni della fluidodinamica e condizioni al contorno. Classificazione dei metodi numerici. Metodi di discretizzazione locali: differenze finite, volumi finiti, elementi finiti. Cenni ai metodi di discretizzazione globali. Nozioni di convergenza, consistenza, stabilità. Teorema di equivalenza di Lax. Metodi di integrazione temporale per problemi evolutivi. Analisi di stabilità di Von Neumann. Condizione CFL. Richiami ai metodi di risoluzione iterativa di sistemi algebrici: rilassamento per punti e per linee, metodi ADI, metodi multi-griglia.

##### **Metodi di generazione di griglia:**

Griglie strutturate e non strutturate. Generazione di griglie strutturate: metodi analitici, algebrici, basati sull'integrazione di equazioni differenziali. Griglie multiblocco. Generazione di griglie non strutturate: triangolazione di Delaunay, metodi del fronte avanzante. Infillimento locale e adattività della griglia.

##### **Soluzione dell'equazione del potenziale in regime transonico:**

Correnti stazionarie: metodi alle differenze finite per l'equazione delle piccole perturbazioni (Murman-Cole) e del potenziale completo (Jameson). Forma conservativa e non conservativa. Trattamento delle regioni supersoniche. Viscosità artificiale. Applicazione: corrente attorno ad un profilo alare. Correnti non stazionarie: metodi impliciti alle differenze finite e volumi finiti, in forma conservativa. Trasformazione di coordinate e consistenza della discretizzazione spaziale. Fattorizzazione approssimata. Condizioni al contorno. Applicazione: corrente attorno ad una pala di elicottero.

##### **Soluzione delle equazioni di Eulero:**

Trattamento delle onde d'urto. Schemi in forma conservativa. Schemi centrati alle differenze finite: schemi espliciti di Lax-Wendroff e di McCormack. Cenni agli schemi centrati impliciti. Schema agli elementi finiti, con viscosità artificiale, di Jameson. Tecniche di accelerazione della conver-

genza verso lo stato stazionario. Trattamento delle condizioni al contorno. Schemi upwind ai volumi finiti: flux vector splitting, metodo di Godunov, solutori approssimati del problema di Riemann. Schemi upwind del secondo ordine. Cenni agli schemi inerentemente multidimensionali. Applicazioni: corrente in un ugello a sezione variabile e attorno ad un profilo oscillante.

**Soluzione delle equazioni di Navier-Stokes per correnti incompressibili:**

Metodi alle differenze finite per le equazioni di Navier-Stokes in formulazione vorticità-funzione di corrente. Trattamento delle condizioni al contorno. Applicazione: separazione di bordo di attacco di un profilo. Metodi per l'integrazione delle equazioni di Navier-Stokes in formulazione velocità-pressione. Metodi ai passi frazionati e metodi di proiezione. Metodi alle correzioni di pressione: MAC, SIMPLE. Metodo della comprimibilità artificiale. Cenni al metodo di Taylor-Galerkin per problemi non stazionari. Applicazioni: correnti turbolente.

**Soluzione delle equazioni di Navier-Stokes per correnti comprimibili:**

Schemi espliciti centrati e upwind. Schema implicito di Beam e Warming. Applicazione: corrente ipersonica attorno ad un veicolo aerospaziale.

*Esercitazioni*

Il corso è completato da esercitazioni teoriche e numeriche.

*Testi consigliati*

S.V. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw Hill, New York, 1980.

R. Peyret, T.D. Taylor *Computational Methods for Fluid Flow*, Springer Verlag, New York, 1983.

D.A. Anderson, J.C. Tannehill, R.H. Pletcher: *Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer*, McGraw Hill, New York, 1984.

C. Hirsch: *Numerical Computation of Internal and External Flows*, Voli. 1 e 2, John Wiley & Sons, New York, 1988.

R.J. LeVeque: *Numerical Methods for Conservation Laws*, Birkhäuser Verlag, Basel, 1990.

**FONDAMENTI DI AUTOMATICA**

**000836**

**Prof. Nicola SCHIAVONI**

*Programma d'esame*

**1 - INTRODUZIONE.**

Problema del controllo; controllo in anello aperto e in anello chiuso; ruolo della retroazione nel contenimento degli effetti prodotti dalla presenza di variabili incerte (condizioni iniziali e parametri); strumentazione.

**2 - SISTEMI DINAMICI.**

**2.1 Descrizione nel "dominio del tempo":** definizioni fondamentali sui sistemi continui e discreti (concetto di stato); movimento ed equilibrio; sistemi lineari: formula di Lagrange e principio di sovrapposizione degli effetti (movimento libero e movimento forzato; proprietà strutturali -cenni-).

**2.2 Stabilità:** definizione "alla Liapunov"; stabilità nei sistemi lineari: criterio degli autovalori e criterio di Routh, connessioni con il concetto di stabilità esterna; stabilità nei sistemi non lineari: criterio della linearizzazione.

**2.3 Descrizione nel "dominio della frequenza":** trasformazione di Laplace e trasformazione zeta; serie e trasformazione di Fourier continua e discreta; funzione di trasferimento: definizione, calcolo, proprietà; poli e zeri; verifica della stabilità; realizzazione (cenni); determinazione qualitativa e quantitativa della risposta di un sistema dinamico a ingressi tipici (impulso, scalino, rampa);

schemi a blocchi e regole per la loro elaborazione; schemi di flusso e formula di Mason; risposta in frequenza: definizione, proprietà e misura sperimentale, rappresentazione grafica (diagrammi polari e cartesiani).

**2.4 Modellistica e identificazione (cenni):** descrizione "nel dominio del tempo" e "nel dominio della frequenza" di semplici processi; problema dell'identificazione e metodi di identificazione; simulazione analogica e digitale.

### 3. SISTEMI DI CONTROLLO.

**3.1 Struttura e requisiti dei sistemi di controllo retroazionati:** controllo di un sistema nell'intorno di una condizione di equilibrio (linearizzazione, il sistema canonico di Lur'e); stabilità e precisione.

**3.2 Analisi del comportamento in transitorio dei sistemi di controllo retroazionati continui lineari semplici:** stabilità: criterio di Nyquist, criterio di Bode, metodo del luogo delle radici; precisione dinamica: carte di Hall, grado di stabilità, entità delle sovraelogazioni, banda passante, velocità di risposta.

**3.3 Analisi del comportamento a regime dei sistemi di controllo retroazionati continui lineari semplici:** precisione statica: errore a transitorio esaurito prodotto dal segnale di riferimento e da disturbi additivi e parametrici agenti "in andata" e "in retroazione".

**3.4 Sintesi dei sistemi di controllo retroazionati continui lineari semplici:** progetto statico e progetto dinamico; reti stabilizzatrici; uso di elementi regolanti "in andata"; controllo di semplici processi.

**3.5 Controllori industriali:** controllori lineari ad azione proporzionale-integrale-derivativa (PID); controllori non lineari a relay; metodi empirici per la loro scelta e messa a punto; controllori programmabili (PLC) e controllo logico.

**3.6 Impiego del calcolatore nei sistemi di controllo:** motivazioni e obiettivi; controllo fuori linea e controllo in linea; campionamento e campionatori; mantenitori; sistemi di controllo a segnali campionati; analisi e sintesi dei sistemi di controllo a segnali campionati lineari semplici: metodi di analisi e metodi di sintesi (cenni).

**3.7 Sistemi di controllo ad architettura complessa (cenni):** metodi di analisi e metodi di sintesi di sistemi di controllo lineari multipli; controllo adattativo; controllo gerarchico; controllo decentralizzato.

#### *Esercitazioni*

E' previsto lo svolgimento di esercitazioni numeriche a illustrazione e complemento degli argomenti trattati a lezione.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta che, in tutti i casi in cui il docente lo ritenga opportuno, può essere seguita da una prova orale.

#### *Libri consigliati*

Per la preparazione all'esame si consiglia di utilizzare i testi seguenti:

S. Bittanti, N. Schiavoni: *Modellistica e controllo*, 2 voi., CLUP, Milano.

P. Bolzem: *Elementi di automatica - Sistemi a tempo discreto e controllo digitale*, Masson, Milano.

P. Bolzem, N. Schiavoni: *Elementi di automatica - Esercizi*, Masson, Milano.

A integrazione, nel corso dell'anno potrà essere fornito del materiale preparato a cura del docente.

Per l'approfondimento della materia si consiglia di utilizzare i testi seguenti:

P. Bolzem: *Programmi Matlab per esercitazioni di Elementi di automatica*, Masson, Milano.

S. Rinaldi: *Teoria dei Sistemi*, CLUP, Milano,

- G. Guardabassi: *Controlli automatici - Parte I*, CLUP, Milano.  
G. Guardabassi: *Elementi di controllo digitale*, CLUP, Milano.  
A. Isidori: *Sistemi di controllo*, Siderea, Roma.  
G. Marro: *Controlli automatici*, Zanichelli, Bologna.  
A. Locatelli: *Elementi di controllo ottimo*, CLUP, Milano.  
A. Locatelli: *Appunti di Teoria della regolazione*, CLUP, Milano.  
G. Quazza: *Controllo dei processi: i problemi fondamentali di controllo, i modelli dinamici e l'identificazione dei processi*, CLUP, Milano.  
G. Quazza: *Controllo dei processi: componenti dei sistemi per il controllo dei processi*, CLUP, Milano.  
G. Marro: *Componenti dei sistemi di controllo*, Zanichelli, Bologna.  
M. Pettemella, R. Vitelli: *Strumentazione industriale - trasduttori e regolatori*, UTET, Torino.

**FONDAMENTI DI AUTOMATICA**  
**Proff. Sergio DITTANTI, Riccardo SCATTOLINI**

000836

*Programma d'esame*

**1. INTRODUZIONE.**

Problema dell'automazione e del controllo. Obiettivi del controllo. Variabili controllate e variabili manipolabili. Disturbi. Strumentazione, trasduttori e attuatori. Schemi di controllo in anello aperto e anello chiuso. Requisiti statici e dinamici di un sistema di controllo.

**2. SISTEMI DINAMICI.**

**2.1** Definizione di sistema dinamico. Sistemi a tempo continuo. Descrizione nel dominio del tempo. Concetto di ingresso, stato, uscita. Rappresentazione dei sistemi dinamici tramite sistemi di equazioni differenziali. Movimento, traiettorie, punti di equilibrio. Stabilità del punto di equilibrio. Linearizzazione.

**2.2** Sistemi dinamici lineari e invarianti. Formula di Lagrange, principio di sovrapposizione degli effetti. Movimento libero e movimento forzato. Proprietà strutturali. Stabilità. Criterio degli autovalori e criterio di Routh.

**2.3** Descrizione nel dominio della frequenza. Trasformazione di Laplace. Funzione di trasferimento: definizione, calcolo, proprietà. Poli, zeri, guadagno, costanti di tempo, pulsazione naturale, smorzamento. Realizzazione. Risposte canoniche di sistemi del primo e del secondo ordine. Schemi a blocchi, elaborazione di schemi a blocchi. Connessioni in serie, parallelo, retroazione. Risposta in frequenza: definizione, proprietà e rappresentazione grafica (diagrammi polari e diagrammi cartesiani).

**2.4** Sistemi a dimensione infinita (cenni). Ritardo di tempo.

**3. SISTEMI DI CONTROLLO.**

**3.1** Schemi di controllo in retroazione. Requisiti di un sistema di controllo. Analisi dei sistemi di controllo retroazionati lineari. Stabilità. Criterio di Nyquist. Criterio di Bode. Grado di stabilità. Robustezza. Margine di fase e di guadagno. Precisione dinamica. Cerchi di Hall, entità delle sovrallungazioni. Banda passante, velocità di risposta. Risposta in frequenza.

**3.2** Precisione statica dei sistemi retroazionati. Errore a transitorio esaurito dovuto a segnali di riferimento e disturbi additivi canonici (scalini, rampe, parabole). Errori dovuti a disturbi parametrici.

**3.3** Sintesi dei sistemi di controllo. Fasi del progetto di sintesi. Specifiche del progetto. Progetto statico e progetto dinamico. Reti stabilizzatrici. Reti ritardatrici e anticipatrici. Uso di elementi regolanti in anello aperto.

**3.4** Luogo delle radici. Regole di tracciamento. Uso del luogo delle radici per l'analisi e la sintesi di sistemi di controllo.

**3.5** Controllori industriali PI e PID, generalità. Taratura dei parametri. Regole di taratura. Controllori con azione desaturante. Controllori a relay, generalità e criteri empirici di taratura.

#### **4. SISTEMI A TEMPO DISCRETO.**

**4.1** Definizioni. Proprietà. Stabilità. Funzione di trasferimento. Risposta in frequenza.

**4.2** Sistemi a segnali campionati. Campionamento e campionatori. Mantentori. Analisi e sintesi dei sistemi di controllo ibridi. Controllori digitali. Tecniche di trasformazione di sistemi di controllo a tempo continuo in sistemi a segnali campionati.

#### **5. TECNICHE AVANZATE DI CONTROLLO (cenni).**

Controllo multivariabile. Controllo in cascata. Controllo adattativo. Controllo gerarchico. Controllo decentralizzato.

#### *Esercitazioni*

Durante il corso verranno svolte esercitazioni numeriche a illustrazione e complemento degli argomenti trattati a lezione.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta.

#### *Libri consigliati*

Per la preparazione dell'esame, si consiglia di utilizzare i testi:

S. Bittanti, N. Schiavoni: *Modellistica e controllo*, 2 Voi. CLUP.

P. Bolzem, N. Schiavoni: *Elementi di Automatica - Esercizi*, Masson 1990.

A utile integrazione e per l'approfondimento della materia si segnalano i testi seguenti:

P. Bolzem: *Elementi di Automatica*, Masson 1993

S. Rinaldi: *Teoria dei sistemi*, CLUP.

G. Guardabassi: *Controlli automatici*, parte I, CLUP.

G. Guardabassi: *Elementi di controllo digitale*, CLUP.

G. Marro: *Controlli automatici*, Zanichelli, 1981.

Sono inoltre disponibili note integrative preparate dal docente.

**FONDAMENTI DI AUTOMATICA**  
**Prof. Paolo BOLZERN, Luca FERRARINI**

**000836**

#### *Programma d'esame*

#### **1. INTRODUZIONE AL PROBLEMA DEL CONTROLLO.**

Sistemi di controllo. Variabili controllate e variabili manipolabili. Disturbi. Obiettivo del controllo. Regolazione e asservimento.

Controllo in anello aperto e anello chiuso. Compensazione e retroazione. Requisiti statici e dinamici di un sistema di controllo.

Trasduttori e attuatori.

Esempi.

## 2. SISTEMI DINAMICI.

Definizione di sistema dinamico. Concetti di ingresso, uscita e stato. Sistemi dinamici ed equazioni differenziali (o alle differenze).

### **Sistemi lineari invarianti a tempo continuo.**

Equilibrio. Movimento libero e movimento forzato. Principio di sovrapposizione degli effetti.

Stabilità. Criterio degli autovalori. Criterio di Routh.

Linearizzazione e stabilità dell'equilibrio per sistemi non lineari.

Cenni alla trasformata di Laplace.

Funzione di trasferimento. Poli e zeri. Schemi a blocchi.

Connessioni in serie, parallelo e retroazione.

Risposte canoniche di sistemi del primo e secondo ordine nel dominio del tempo. Costante di tempo. Pulsazione naturale e coefficiente di smorzamento.

Risposta in frequenza. Diagrammi polari. Diagrammi cartesiani (di Bode).

Interpretazione dei sistemi dinamici come filtri.

Sistemi a dimensione infinita (cenni). Ritardo di tempo.

### **Sistemi lineari invarianti a tempo discreto.**

Movimento, equilibrio. Stabilità. Cenni alla trasformata Z. Funzione di trasferimento. Risposta in frequenza.

## 3. SISTEMI DI CONTROLLO.

Schema del controllo in retroazione. Requisiti del sistema di controllo.

Stabilità. Criterio di Nyquist. Criterio di Bode. Grado di stabilità. Margine di fase e margine di guadagno.

Risposta in frequenza di sistemi retroazionati. Poli dominanti.

Velocità di risposta. Banda passante. Cerchi di Hall.

Precisione statica. Errore a transitorio esaurito dovuto a segnale di riferimento, disturbi additivi e disturbi parametrici.

Sintesi del controllore. Specifiche di progetto. Fasi del progetto.

Luogo delle radici. Regole per il tracciamento. Uso del luogo delle radici per l'analisi e la sintesi di sistemi di controllo.

## 4. REGOLATORI INDUSTRIALI.

Controllori PID. Taratura dei parametri. Regole di Ziegler e Nichols.

Controllori a relè. Criteri di taratura.

Controllori logici programmabili (PLC). Metodi di specifica, programmazione e progetto (cenni).

## 5. CONTROLLO DIGITALE.

Sistemi a segnali campionati. Campionatori e mantentori. Cenni al problema del campionamento.

Criteri di progetto di controllori digitali mediante discretizzazione di controllori analogici o tecniche dirette a tempo discreto. Metodo di Ragazzini.

## 6. TECNICHE AVANZATE DI CONTROLLO (cenni).

Controllo multivariabile. Cenni di teoria "moderna" del controllo.

Controllo di sistemi non lineari.

Controllo adattativo.

Controllo gerarchico e decentralizzato.

### *Esercitazioni*

Durante il corso verranno svolte

- esercitazioni numeriche ad illustrazione delle tecniche di analisi e progetto presentate a lezione;

- esercitazioni con l'uso di strumenti informatici interattivi (personal computer corredato di software per l'analisi e la sintesi di sistemi di controllo);

- esercitazioni su argomenti complementari e su applicazioni specifiche.

I programmi di calcolo su personal computer usati nelle esercitazioni saranno messi a disposizione degli studenti per uso individuale nei laboratori appositamente attrezzati.

### *Libri consigliati*

Testi base:

S. Bittanti, N. Schiavoni: *Modellistica e controllo*, voi. 1 e 2, CLUP.

P. Bolzem: *Elementi di automatica - Sistemi a tempo discreto e controllo digitale*, Masson

P. Bolzem, N. Schiavoni: *Elementi di automatica - Esercizi*, Masson.

P. Bolzem: *Programmi MEDEA*, Masson

Per approfondimenti:

S. Rinaldi: *Teoria dei sistemi*, CLUP.

E. Fomasini, G. Marchesini: *Appunti di teoria dei sistemi*, Libreria Progetto, Padova.

G. Marno : *Controlli automatici*, Zanichelli.

G. Guardabassi: *Elementi di controllo digitale*, CLUP.

C. Bonivento, C. Melchiorri, R. Zanasi: *Sistemi di controllo digitale*, Progetto Leonardo, Bologna.

G. Quazza: *Controllo dei processi*, voi. 1 e 2, CLUP.

## **FONDAMENTI DI AUTOMATICA (1/2 annualità)**

**000855**

**Prof. Massimo MIARI**

### *Programma d'esame*

#### **1 - INTRODUZIONE.**

Problemi di controllo; sistemi di controllo in anello aperto e in anello chiuso.

#### **2 - SISTEMI DINAMICI.**

**2.1 Descrizione nel "dominio del tempo"**: definizioni fondamentali sui sistemi a tempo continuo e discreto; sistemi lineari e invarianti nel tempo: formula di Lagrange e principio di sovrapposizione degli effetti, stabilità e relativi criteri.; linearizzazione.

**2.2 Descrizione nel "dominio della frequenza"**: trasformazione di Laplace e trasformazione zeta; funzioni di trasferimento; risposta allo scalino; schemi a blocchi; risposta in frequenza e sua rappresentazione cartesiana.

#### **2.3 Modellistica dei semplici processi**

#### **3 - SISTEMI DI CONTROLLO.**

**3.1 Analisi dei sistemi di controllo retroazionati**: stabilità: criterio di Bode; precisione dinamica: banda passante, entità delle sovraelongazioni, velocità di risposta; precisione statica.

**3.2 Sintesi dei sistemi retroazionati**: progetto statico e progetto dinamico; controllori **PID** e metodi empirici di taratura.

#### **3.3 Cenni al controllo digitale.**

#### **3.4 Controllo di semplici processi.**

### *Esercitazioni.*

E' previsto lo svolgimento di esercitazioni numeriche a illustrazione e complemento degli argomenti trattati a lezione.

*Modalità d'esame*

L'esame consta in una prova scritta che, in tutti i casi in cui il docente lo ritenga opportuno, può essere seguita da una prova orale.

*Libri consigliati*

S.Bittanti, N.Schiavoni: *Modellistica e sistemi di controllo*, 2 voi., Cittastudi, Milano.

P.Bolzem: *Elementi di automatica - Sistemi a tempo discreto e controllo digitale*, Masson, Milano.

P.Bolzem, S.Schiavoni: *Elementi di automatica - Esercizi*, Masson, Milano.

**FONDAMENTI DI INFORMATICA****AG0200**

(per gli allievi di Ingegneria Chimica, Elettrica, Nucleare, dei Materiali)

**Prof.ssa Maria Grazia FUGINI**

*Programma d'esame*

**1) CONCETTI INTRODUTTIVI** - Presentazione dell'informatica e dei calcolatori elettronici. Concetto di algoritmo e linguaggi per descrivere algoritmi. L'esecutore calcolatore. La rappresentazione binaria dell'informazione e relativi standard.

**2) ARCHITETTURE HARDWARE E SOFTWARE.**

**Struttura di un sistema di calcolo** - Unità funzionali e bus. Il modello di Von Neumann. L'unità centrale e i suoi registri, unità logica aritmetica e unità di controllo. La memoria di lavoro. Interfaccia di I/O. Unità periferiche e loro funzionalità e caratteristiche. Cenni di algebra booleana: variabili, operatori ed espressioni. Il linguaggio del calcolatore: istruzioni, modalità di indirizzamento, linguaggio simbolico. Esecuzione di istruzioni

**Il sistema operativo.** Funzioni e tipologie. Macchine virtuali e struttura a livelli. Stati di funzionamento del processore, nucleo e gestione dei processi, gestione della memoria, il file System, l'interprete comandi e l'interfaccia utente.

**3) LA PROGRAMMAZIONE**

**Programmazione in linguaggio di alto livello** - Il linguaggio C: fondamenti. Strutture di controllo. Tipi di dati. Vettori, strutture, puntatori. Struttura dei programmi. Funzioni e procedure. Visibilità degli identificatori. Modello di esecuzione con blocchi di attivazione. La vita delle variabili. Elementi di programmazione ricorsiva. Strutture dati dinamiche. Tipi di dati astratti. Grafi, pile, code, alberi e principali algoritmi. Confronto tra i linguaggi PASCAL, FORTRAN, C. Tecniche di documentazione dei programmi.

**Ciclo di vita del software**- Oggetti, fasi e strumenti interessati dal ciclo di vita del software. Definizione delle specifiche, progetto, codifica, traduzione, collegamento, caricamento, esecuzione, correzione e manutenzione dei programmi. Strumenti di supporto alle fasi. Ambienti di sviluppo. Obiettivi e metodologie della fase di progetto: scomposizione funzionale e scomposizione in moduli. Progetto di algoritmi e di strutture dati. Qualità del software, verifica. Problematiche relative all'implementazione del software. Criteri di scelta del linguaggio di programmazione. Dal linguaggio alla macchina: traduzione e modello run-time.

**4) APPLICAZIONI E ARGOMENTI MONOGRAFICI** - Sistemi transazionali e distribuiti. Trasmissione dati e reti. Gestione di archivi. Software e modelli per la gestione di basi di dati. Strumenti di produttività.

### *Esercitazioni*

Il corso si basa sul linguaggio C come linguaggio di riferimento. Le esercitazioni vertono su questo linguaggio, con esempi ed algoritmi tipici di ricerca, ordinamento, calcolo e sulle tecniche di programmazione

### *Modalità d'esame*

L'esame si basa sulla realizzazione di un progetto in linguaggio C (con la relativa documentazione e da discutere oralmente) e su una prova scritta.

### *Libri consigliati*

S. Ceri, D. Mandrioli, L. Sbattella: *Istituzioni di informatica*, McGraw-Hill.

Schildt: *ANSI C e C++*, McGraw-Hill

Bisogni, Bomey, Mezzalana: *Eserciziario di Linguaggio C*, C.I.L.

A. Bellini, A. Guidi: *Guida al linguaggio C*, McGraw-Hill.

## **FONDAMENTI DI INFORMATICA**

**AG200**

(per gli allievi di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Civile, Edile)

**Proff. Cesare ALIPPI, Andrea BONARINI, Alfonso FUGGETTA**

### *Programma d'esame*

- 1) Breve rassegna sul mondo dell'informatica.
- 2) Rappresentazione dello schema risolutivo (algoritmo) di un problema in una forma adatta all'elaborazione automatica. Principi di funzionamento di un calcolatore elettronico elementare. Rappresentazione binaria delle informazioni. Concetti di linguaggio di programmazione, compilatore, sistema operativo.
- 3) Progetto di programmi con l'utilizzo di un linguaggio (C) particolarmente adatto ad una descrizione strutturata degli algoritmi. Strutture di controllo. Concetto di tipo: tipi standard e tipi definiti dall'utente. Definizione e uso di sottoprogrammi.
- 4) Metodologie di progetto dei programmi: sviluppo "passo-passo" e progetto modulare.
- 5) Progetto di strutture di dati. Tabelle e liste non sequenziali. Rappresentazione di alberi e grafi.
- 6) Verifica, aggiornamento e documentazione dei programmi. Prestazioni di un programma (tempo di esecuzione e memoria occupata) in funzione di strutture di dati e algoritmo scelti.
- 7) Architettura dei calcolatori e dei Sistemi Informatici.
- 8) Strumenti di produttività personale e ambienti avanzati per la costruzione di applicazioni.

### *Esercitazioni*

Non esiste una separazione rigida fra lezioni ed esercitazioni, poiché gli argomenti del corso vengono spesso introdotti e motivati mediante esempi di programmi, è prevista e stimolata una notevole attività sperimentale su calcolatore.

*Modalità d'esame*

L'esame si compone di una prova scritta e della realizzazione di un elaborato consistente in un programma concordato col docente. La discussione dell'elaborato conclude l'esame.

*Libri consigliati*

S. Ceri, D. Mandrioli, L. Sbattella: *Istituzioni di informatica (in C)*, McGraw-Hill Italia, 1994.

Un libro sul linguaggio C (a scelta).

A. Celentano: *Fortran 77*, Città Studi.

**FONDAMENTI DI INFORMATICA****AG0200**

(per gli allievi di Ingegneria Aerospaziale, Gestionale, Meccanica)

**Proff. Anna ANTOLA, Fausto DISTANTE, Franca GARZOTTO, Licia SBATTELLA**

*Programma d'esame*

**Introduzione** - Natura e rappresentazione delle informazioni. Algoritmi: proprietà, definizione, linguaggi. Rappresentazione degli algoritmi e pseudocodice. Componenti, funzionalità e struttura di un sistema di elaborazione.

**PARTE I: LA PROGRAMMAZIONE.**

**Programmazione in linguaggio ad alto livello** - Il linguaggio C: fondamenti. Strutture di controllo. Tipi di dati: vettori e strutture. Puntatori. Funzioni. Struttura di programma. Introduzione alle strutture dati dinamiche e alla ricorsione.

**Progettazione e gestione del software** - Analisi e progetto di algoritmi e strutture dati. Il ciclo di vita del software. La qualità del software. Progettazione, documentazione e verifica. Gli ambienti di sviluppo.

**PARTE II: ARCHITETTURE HARDWARE E SOFTWARE.**

**Struttura di un sistema di calcolo** - Unità funzionali e bus. Il modello di Von Neumann. Unità centrale, memoria, interfaccia di I/O, unità periferiche. Linguaggio macchina. Linguaggio assemblatore e traduzione.

**Sistema operativo** - Classificazione e funzioni dei sistemi operativi. Il nucleo e la gestione dei processi, la gestione della memoria, il file System, l'interprete comandi e l'interfaccia utente.

**PARTE III: APPLICAZIONI E ARGOMENTI MONOGRAFICI.**

Linguaggio Fortran. Programmazione a oggetti e C++. Trasmissione dati, reti e sistemi distribuiti. Basi di dati. Strumenti di produttività.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni sono parte integrante del corso e vertono essenzialmente sul linguaggio C e sulle tecniche di programmazione.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta, un progetto da realizzare su calcolatore, e una prova orale secondo quanto specificato dai singoli docenti.

*Testi di studio*

S. Ceri, D. Mandrioli, L. Sbattella: *Informatica: Istituzioni/C*, McGraw-Hill Libri Italia.

H. Schildt,; *C. Guida completa*, McGraw-Hill Libri Italia.

A. Kelley, I.Pohl,; *A Book on C. Programming in C*, The Benjamin/Cummings Publishing Company.

H. Schildt, *Turbo C/C++*. *The complete reference*, Osborne-McGraw-Hill.

**FONDAMENTI DI INFORMATICA I**

AG0276

**Proff. Rosamaria MORPURGO MARENA, Angelo MORZENTI, Mauro NEGRI, Valeria DE ANTONELLIS***Programma d'esame***Concetti introduttivi.**

Panoramica storica e contenuti dell'informatica;  
algoritmi, programmi, linguaggi;  
l'esecutore calcolatore (processo sequenziale);  
processo di traduzione e linguaggi evoluti;  
operatori logici e teoremi fondamentali.

**Gli aspetti fondamentali della programmazione, con riferimento al MODULA-2.**

Il linguaggio di programmazione e le esigenze di astrazione.

L'astrazione sui dati mediante la dichiarazione dei tipi di dato.

I meccanismi strutturati per il controllo della sequenza di esecuzione delle operazioni in programma.

L'astrazione sulle operazioni mediante la definizione di sottoprogrammi. Passaggio di parametri tra sottoprogrammi. Cenni alla struttura della macchina astratta del linguaggio.

La realizzazione di tipi di dato astratti mediante i moduli. Compilazione separata dei moduli e costruzione di programmi di grandi dimensioni.

La gestione dei file.

Definizione di strutture dati di base statiche e dinamiche e algoritmi di manipolazione.

La ricorsione: meccanismi forniti dal linguaggio.

Introduzione al linguaggio C.

**Architetture Hardware/Software.**

Il processo sequenziale a livello del linguaggio assembler: modi di indirizzamento; principali istruzioni; strutture dati in assembler: pile e vettori; le subroutine e il passaggio dei parametri; la macroespansione;

la rappresentazione binaria dell'informazione: rappresentazione binaria dei dati e delle istruzioni; il processo di assemblaggio; il collegamento e la rilocazione statica;

il modello di esecuzione di un programma MODULA-2 a livello assembler.

**Applicazioni e altri aspetti dell'informatica.***Modalità d'esame*

L'esame consiste nella preparazione di un elaborato in MODULA-2, in una prova scritta e in una prova orale, e si svolge secondo le modalità stabilite da parte dei singoli docenti per ciascun appello.

*Libri consigliati*

- 1) F. De Paoli, D. Mandrioli: *Fondamenti di Informatica*, McGraw-Hill, 1995.
- 2) G. Pelagatti: *Sistemi di elaborazione: architetture Hardware e Software*, McGraw-Hill, 1992.
- 3) A. Morzenti: *Programmazione in MODULA-2*, ESCULAPIO, 1995.
- 4) N. Wirth: *Programming in Modula-2*, 4th edition, Springer Verlag, 1988
- 5) S. Leestma, L. Nyhoff: *Programming and problem solving in Modula - 2*, Mac Millan P.C.
- 6) Dispense a cura dei docenti (per alcuni argomenti)

**FONDAMENTI DI INFORMATICA II****AG0201****Prof. Mauro PEZZE', Giuseppe PELAGATTI, Donatella SCIUTO***Programma d'esame***1) Architetture Hardware/Software.**

**1.1** Funzionalità dell'H.W. di supporto al sistema operativo: modi S e U di funzionamento del supervisore; istruzioni e indirizzi privilegiati; rilocalizzazione dinamica, registri base e MMU; meccanismo di interrupt; meccanismi di accesso alle periferiche; programmazione in ambiente interrupt.

**1.2** Struttura del Sistema Operativo: il sistema di gestione dei processi; il file System; i gestori delle periferiche; la gestione della memoria.

**1.3** La realizzazione dell'Hardware: i moduli funzionali; sistema di comunicazione (BUS) e meccanismi fondamentali di handshaking; operatori elementari e relativa algebra; reti logiche; temporizzazione del sistema; realizzazione di un sottosistema funzionale come rete sequenziale sincrona: logica programmata e microprogrammazione.

**2) Strutture dati e algoritmi.**

**2.1** Progettazione di algoritmi ricorsivi.

**2.2** Strutture dati statiche e dinamiche.

**2.3** Valutazione elementare di complessità, rispetto ad alcuni parametri architettureali, di alcuni algoritmi interni ed esterni.

*Libri consigliati*

1. G. Pelagatti, *Sistemi di elaborazione: architetture Hardware e Software*, McGraw-Hill.

2. B. Kemighan, D. Ritchie: *Linguaggio C*, II ed. Gruppo Editoriale Jackson.

3. E. Horowitz, S. Sahni, S. Anderson Freed: *Fundamentals of data Structures in C*, Computer Science Press.

4. D.Harel, *Algorithmics, the Spirit of Computing*, Addison Wesley, 1992.

5. L. Lavazza, M. Pezzè: *Esercizi e Temi d'esame risolti*, Esculapio.

6. A. Tanenbaum, *Structured Computer Organization*, Prentice Hall

7. C. Bolchini, D. Sciuto, *Fondamenti di Informatica 2 - Progettazione Hardware*, Esculapio

**FONDAMENTI DI INFRASTRUTTURE VIARIE****000884****Prof. Giovanni DA RIOS***Programma d'esame*

**1) L'insieme delle infrastrutture viarie** - Caratteristiche generali e funzionali. Strade ordinarie e autostrade. Ferrovie ordinarie, ad alta velocità, speciali. Aeroporti e aerostazioni. Interporti e autoporti. Idrovie e canali navigabili. Porti. Impianti a fune. Metropolitane e sistemi innovativi di trasporto. Elementi progettuali, costruttivi e modalità di funzionamento. Le resistenze al moto per i vari modi di trasporto. Controllo e regolazione delle varie forme di traffico terrestre, per via d'acqua e aereo. Richiami di cinematica applicata ai vari modi di trasporto. Le velocità operative.

**2) Ordinamento amministrativo e organizzativo** - Competenze e controlli in fase di progettazione, di costruzione ed esercizio. Gli Enti titolari delle varie infrastrutture, gli appalti, le concessioni di costruzione e gestione. Le problematiche di esercizio e di gestione delle varie infrastrutture. Gli indicatori caratteristici della gestione per le varie forme infrastrutturali. Elementi fondamentali di economia dei trasporti: domanda, offerta, costi marginali, tariffe, prezzi.

**3) Regolamenti e normative** - Normative nazionali ed internazionali. Le convenzioni vigenti in ambito europeo e mondiale. Le direttive UE. Organismi internazionali operanti nel settore infrastrutturale. I gradi di libertà del progetto per le diverse infrastrutture. Le grandi convenzioni internazionali sui trasporti. Regole di unificazione e normalizzazione dei mezzi di trasporto.

**4) Gli studi propedeutici al progetto** - Definizione della potenzialità di traffico delle varie infrastrutture. Analisi di mobilità di persone e cose. La trattazione statistica dei rilievi di traffico e applicazioni al traffico stradale. Individuazione preliminare dei costi complessivi di intervento. Analisi di redditività dell'investimento infrastrutturale. Valutazione di impatto ambientale: obiettivi, parametri di sintesi, matrici di decisione. Le conferenze dei servizi: contenuti e finalità dei documenti tecnici. La valutazione preliminare delle problematiche di esercizio dei trasporti. Ottimizzazione dei rapporti fra infrastruttura, veicoli e organizzazione. Il project financing e la verifica dei flussi finanziari delle opere.

**5) I livelli di progettazione** - I quattro livelli di definizione infrastrutturale: progetto preliminare, di massima o definitivo, esecutivo, costruttivo di cantiere. Elementi costruttivi dei manufatti maggiori dei vari sistemi infrastrutturali. Master pian e fasi attuative per i grandi interventi infrastrutturali. Esempi applicativi per le varie infrastrutture. La progettazione integrata.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nello sviluppo applicativo di studi di fattibilità, progetti preliminari e analisi V.I.A. di grandi infrastrutture di trasporto con apprendimento delle tecniche principali di valutazione, anche mediante l'ausilio di elaboratori elettronici.

#### *Libri consigliati*

Tesoriere - *Strade, ferrovie, aeroporti* - UTET - Torino  
 Da Rios - *Tecnica del traffico 2<sup>A</sup>* - CLUP - Milano  
 Ferrari-Giannini: *Ingegneria stradale* - ISEDI - Milano

## **FONDAMENTI DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE**

**000843**

**Prof. Marino GATTO**

#### *Programma d'esame*

##### **1. Dall'analisi costi-benefici alla VIA**

\*

Strumenti per il processo decisionale pubblico: l'analisi costi benefici, l'analisi costi-efficacia, l'analisi a molti criteri, la valutazione d'impatto ambientale.

##### **2. VIA: problemi e metodi**

La procedura di VIA. Il recepimento della direttiva CEE in Italia. Trasparenza e ripercorribilità dello studio. Il rapporto con la pianificazione territoriale.

##### **3. La fase di orientamento**

La legislazione ambientale e gli iter procedurali dei grandi progetti. Le fonti dei dati. Liste di controllo e matrici di orientamento.

##### **4. L'analisi territoriale**

I sistemi informativi geografici (GIS). Indicatori e indici ambientali. Tematismi e cartografie sovrapposte.

**5.1 metodi di analisi**

I parametri di progetto. Le relazioni causa-condizione-effetto. I grafi. Le sequenze di matrici coassiali. I modelli di settore e la stima degli impatti.

**6. Il percorso logico dello studio di VIA**

Elementi costitutivi e alternative. Criteri per il trattamento delle stime qualitative e per l'aggregazione degli impatti. La matrice di valutazione. Il significato dell'alternativa zero.

**7. Il controllo e la partecipazione**

Il coordinamento e la rappresentazione delle informazioni. Documentazione dei passi logici e delle fasi di elaborazione delle matrici. Ripercorribilità dello studio. Il software GAIA.

**8. Il confronto tra le alternative**

I sistemi di supporto alle decisioni. Logiche decisionali e analisi di conflittualità. La dinamica del processo decisionale. Il software VISPA.

**9. Analisi a molti attributi**

Mutua indipendenza preferenziale. Funzioni valore e funzioni utilità. Costruzione della funzione obiettivo. Analisi di sensitività.

**10. Analisi gerarchica: i confronti a coppie**

Matrici di confronti a coppie e vettori di ordinamento. Scale alternative. Errori di consistenza. I metodi dell'auto vettore e dei minimi quadrati.

**11. Analisi gerarchica: scomposizione e ricomposizione**

Definizione e uso delle gerarchie. Gerarchie incomplete. Decisioni di gruppo. Il problema del rank re versai. Valutazioni a priori.

**12.1 metodi Electre: analisi di concordanza e discordanza**

Incomparabilità e intransitività delle preferenze. Relazioni di surclassamento e determinazione del nucleo. Analisi di sensitività al variare delle soglie.

**13.1 metodi Electre: creazione di un ordinamento**

Ordinamenti ascendenti e discendenti. Soglie di preferenza, di indifferenza e di veto. Grado di credibilità dei surclassamenti. Algoritmi di distillazione.

**14. Software applicativo**

Analisi di alcuni pacchetti software per la VIA. Caratteristiche e ambiti di applicabilità. Esempi di applicazione.

**15. Studi di caso**

Di alcuni studi di caso verranno analizzati sia gli aspetti procedurali (generazione delle alternative e analisi del conflitto, struttura decisionale e partecipazione) che gli aspetti tecnici (lo studio d'impatto ambientale).

**16. Gli strumenti ad adesione volontaria della CEE**

Ecolabelling e auditing ambientale. Life cycle analysis. Bilanci sociali. Ecoprogettazione e responsabilità estesa del produttore.

*Libri consigliati*

Appunti delle lezioni

Articoli distribuiti dal docente

Regione Lombardia - *Manuale per la Valutazione di Impatto Ambientale*

**FONDAZIONI****AN0107****Prof. Giancarlo GIODA***Programma d'esame*

- 1. Definizioni generali** e richiamo delle nozioni fondamentali della meccanica dei terreni.
- 2. Tipologia delle fondazioni** - fondazioni superficiali - fondazioni isolate e continue - platee - fondazioni compensate - fondazioni profonde - pali e palificate - pozzi e cassoni.
- 3. Scelta del tipo di fondazione** in relazione alla natura del terreno ed in funzione delle caratteristiche strutturali dell'opera.
- 4. Fondazioni superficiali** - stabilità locale e globale rispetto al pericolo di rotture del terreno per fenomeni di taglio - determinazione della capacità portante per fondazioni con piano di posa non parallelo al piano campagna e soggette a carichi comunque inclinati; metodi di calcolo dei cedimenti per terreni di natura coesiva e non coesiva.
- 5. Interazione terreno-struttura** di fondazione - sovrastruttura nel caso delle fondazioni dirette; applicazioni.
- 6. Pali di fondazione** - tipologia esecutiva - pali infissi - prefabbricati - gettati in opera - pali tri-vellati: a secco, con fango, con tubo forma - pannelli di diaframma.
- 7. Pali soggetti a carichi assiali** metodi per la determinazione della portata limite per pali singoli (formule statiche e dinamiche e loro limitazioni); analisi dei cedimenti; prove di carico statico (scopi; dispositivi e modalità di carico; strumentazione dei pali; metodi di interpretazione).
- 8. Pali soggetti a carichi trasversali** - metodi per la determinazione della portata limite per pali singoli; analisi dei cedimenti.
- 9. Palificate** - capacità portante e analisi dei cedimenti di pali in gruppo; cenni sulla distribuzione dei carichi nell'ambito delle palificate.
- 10. Fondazioni a pozzo.**
- 11. Opere di sostegno** - rigide e flessibili, muri di sostegno (diaframmi e palancolate a sbalzo e con uno o più ordini di ancoraggi).
- 12. Metodi di miglioramento dei terreni:** addensamento dei terreni non coesivi, iniezioni di consolidamento; precarico con e senza dreni di sabbia; elettrosmosi.
- 13. Metodi di consolidamento delle fondazioni.**
- 14. Il metodo degli elementi finiti per l'analisi di opere geotecniche.**

*Esercitazioni*

Durante le esercitazioni verranno sviluppati e discussi esercizi ed applicazioni degli argomenti trattati in lezione.

*Libri consigliati*

A chi desiderasse approfondire gli argomenti trattati nelle lezioni si consiglia la consultazione dei seguenti testi:

- H. F. Winterkom e H. Y. Fang: *Foundation engineering handbook*, Van Nostrand Reinhold Company.  
J. E. Bowles: *Foundation analysis and design*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.  
H. G. Poulos e E. H. Davis: *Pile foundation analysis and design*, John Wiley and sons.  
C. Viggiani: *Fondazioni*, Cuen, 1993.

**FONDERIA**  
**Prof. Giovanni CAIRONI**

**AR0126**

*Programma d'esame*

Modelli per fonderia. Materiali per la formatura e le anime, preparazione e rigenerazione.

I metodi di formatura tradizionali e innovativi.

La formatura meccanizzata; macchine e impianti.

Metodi di colata. La finitura dei getti.

Prove tecnologiche di processo. Il collaudo dei getti.

Difetti nei getti.

I forni fusori per la fonderia di leghe ferrose e non ferrose.

Problemi ambientali nella fonderia: emissioni e rifiuti, normative nazionali e comunitarie.

Metallurgia delle ghise. Il diagramma di stato per le ghise. I diagrammi strutturali. Le inoculazioni.

Riempimento delle forme ed alimentazione, materozze, raffreddatori, ecc.. Influenza degli elementi aggiunti alle ghise.

Vari tipi di ghise, proprietà e metodi di elaborazione.

Le leghe di alluminio per fonderia.

Le leghe di rame per fonderia.

Gli acciai per getti. Diagrammi di stato per gli acciai. Calcolo della alimentazione.

Vari tipi di acciai. Proprietà e metodi di elaborazione

La colata sotto pressione nelle leghe non ferrose.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale.

*Esercitazioni*

Calcolo delle cariche dei forni.

Metallografia di leghe da fonderia.

Visite ad impianti.

*Libri consigliati*

Verranno distribuite dispense durante lo svolgimento del corso.

A Rossini, G. Tosi: *Dispensa di Fonderia*, CUSL.

*La Metallurgia della Ghisa*, Assofond, voli. 1-2-3.

G. Spur, T. Stöferle: *Enciclopedia delle Lavorazioni Meccaniche*, voi. 1, Tecniche Nuove.

F. Mazzoleni: *Tecnologie dei metalli*, Voi. 1, UTET.

*Solidificazione direzionale dei getti di acciaio*, ASSOFOND

**FOTOGRAMMETRIA**  
**Prof. Gianfranco FORLANI**

**AX0006**

*Programma d'esame*

**1. INTRODUZIONE.**

Generalità sul rilievo fotogrammetrico. Orientamento interno ed esterno dei fotogrammi. Fondamenti matematici della fotogrammetria: trasformazioni proiettiva e prospettiva. Restituzione.

**2. SENSORI.**

Richiami sulle lenti. Pellicole fotografiche. Sensori digitali. Fotocamere analogiche e digitali. Scanners. Distorsioni geometriche e radiometriche, qualità delle immagini. Calibrazione delle camere.

**3. OPERAZIONI DI RIPRESA.**

Progetto del piano di volo. Scelta dei parametri in funzione della scala della carta. Navigazione e strumenti ausiliari per la ripresa.

**4. STEREOSCOPIA. STRUMENTI E METODI DI MISURA DELLE IMMAGINI.**

Visione stereoscopica. Il modello stereoscopico e la marca mobile. Stereoscopi. Monocomparatori, stereocomparatori. Puntinatori.

**5. FOTOGRAMMETRIA ANALITICA.**

Orientamento interno. Correzioni delle coordinate per la distorsione. Equazioni di collinearità. Correzioni delle coordinate per la rifrazione atmosferica. Equazioni di complanarità. Orientamento relativo. Orientamento assoluto. Orientamento diretto.

Triangolazione aerea a stelle proiettive e modelli indipendenti. Punti di legame e di appoggio. Compensazione di blocchi fotogrammetrici. Parametri aggiuntivi. Uso del GPS nella triangolazione aerea. Trasformazioni tra sistemi di riferimento. Affidabilità dei blocchi fotogrammetrici.

**6. RESTITUZIONE GEOMETRICA.**

Restituzione analogica: grafico pianimetrico e rappresentazione altimetrica.

Restituzione digitale: restituzione pianimetrica codificata; acquisizione dati per modelli digitali.

**7. RESTITUZIONE FOTOGRAFICA.**

Il raddrizzamento. Strumenti raddrizzatori. Ortofoto proiezione: il raddrizzamento differenziale.

**8. FOTOGRAMMETRIA DIGITALE.**

Generalità. Acquisizione ed elaborazione delle immagini digitali: filtraggi e manipolazioni dei toni di grigio. Correzione delle distorsioni geometriche. Risoluzione geometrica e radiometrica. Metodi di correlazione automatica delle immagini. Selezione automatica di punti di immagini. Metodi per la ricerca automatica di punti omologhi. Metodi a risoluzione crescente: piramidi di immagini. Automazione delle diverse fasi del processo fotogrammetrico. Ortofoto digitali.

**9. APPLICAZIONI CARTOGRAFICHE DEL RILEVAMENTO FOTOGRAMMETRICO.**

La produzione cartografica. Redazione e collaudo delle carte. La cartografia numerica ed i sistemi informativi territoriali.

**10. FOTOGRAMMETRIA TERRESTRE.**

Camere terrestri metriche e semimetriche. Calibrazione. Progettazione del rilievo. Applicazioni della fotogrammetria terrestre in campo topografico, industriale, architettonico e giudiziario.

*Esercitazioni*

Durante l'anno sono previste esercitazioni di carattere numerico e strumentale. Per queste ultime gli allievi saranno divisi in squadre.

*Modalità d'esame*

L'esame prevede una prova scritta con discussione.

*Libri consigliati*

A. Selvini: *Elementi di fotogrammetria*, CittàStudi, 1994.

F. Sansò: *Il trattamento statistico dei dati*, CittàStudi, 1991.

Saranno inoltre disponibili dispense su argomenti specifici.

**GASDINAMICA**  
**Prof. Luigi VIGEVANO****AL0005***Programma d'esame*

**Correnti monodimensionali stazionarie:** equazioni di bilancio globali e indefinite - bilancio dell'entropia - correnti isentropiche in condotti di area variabile - correnti con attrito e con apporto di calore in condotti di area costante.

**Correnti monodimensionali instazionarie:** curve caratteristiche - esempi di fluidi retti da una sola legge di conservazione - nascita delle discontinuità - non equivalenza di diverse leggi globali di conservazione - regola delle aree - curve caratteristiche per il moto di un gas perfetto - invarianti di Riemann - onde semplici - metodo delle caratteristiche e concetto di dominio di influenza.

**Onde d'urto:** condizioni di discontinuità - non conservazione dell'entropia - leggi dell'urto in un gas perfetto - diagramma di Rankine-Hugoniot dell'onda d'urto - convergenza delle caratteristiche e crescita dell'entropia - teoria di Chapman e Jouguet della combustione.

**Fondamenti della gasdinamica:** equazioni di bilancio - effetto di un cambiamento di riferimento sulla massa, quantità di moto ed energia - espressione invariante dei flussi - definizione microscopica - distribuzione maxwelliana delle velocità e sue conseguenze - calori specifici - simmetria delle relazioni costitutive - primo e secondo coefficiente di viscosità - equazione di bilancio dell'entropia - conseguenze della positività della produzione di entropia - conduttività termica - equazione della diffusione - coefficienti di diffusione - cammino libero medio, numero di Knudsen e ordine di grandezza dei coefficienti di trasporto - schema delle equazioni della gasdinamica, condizioni al contorno.

**Correnti ideali in due e tre dimensioni:** equazioni indefinite e correnti irrotazionali - teorema di Bernoulli, relazione di Crocco - cenni di acustica, onde piane e sferiche - rappresentazione di Fourier - energia e intensità di un'onda sonora - sorgenti sonore - campo lontano e potenza emessa - onde cilindriche - bilancio della vorticità - correnti irrotazionali subsoniche - sviluppo in serie di potenze del numero di Mach - corrente su profilo alare sottile - trasformazione dell'odografo - correnti irrotazionali supersoniche - corrente su profilo sottile - regole di similitudine - corrente su solido di rotazione allungato - resistenza - campo lontano - formazione di urti nel campo lontano e calcolo del boom sonico - linee caratteristiche e invarianti di Riemann delle correnti stazionarie supersoniche piane - espansione intorno ad uno spigolo - onde d'urto oblique e relativi diagrammi - riflessione ed intersezione di onde d'urto - metodo delle onde deboli - ugello perfetto - getto all'uscita di un ugello - correnti transoniche su profili alari, caratteri del passaggio attraverso il regime transonico - regola di similitudine transonica - cenni sulle correnti ipersoniche e calcolo delle azioni aerodinamiche .

**Correnti viscosi e conduttrici del calore:** corrente rettilinea alla Couette - equazioni dello strato limite comprimibile: scelta delle scale, adimensionalizzazione e presupposti dell'approssimazione - equazione dell'energia e relazione di Crocco-Busemann - temperatura di recupero e fattore di analogia di Reynolds - soluzione di Chapman e Rubesin - cenni sullo strato limite turbolento.

**Cenni alla teoria cinetica dei gas:** variabili ed equazioni del moto microscopico - funzione di distribuzione - distribuzione maxwelliana - equazione di Boltzmann - relazione con le equazioni macroscopiche - problematiche del moto in gas rarefatti.

*Esercitazioni*

Il corso è completato da esercitazioni teoriche e numeriche.

*Testi consigliati*

- J.D. Anderson: *Modern Compressible Flow*, Me Graw Hill, New York, 1990.  
 L.D. Landau, E.M. Lifchitz: *Fluid Mechanics*, Pergamon Press, Oxford, 1959.  
 H.W. Liepmann, A. Roshko: *Elements of Gasdynamics*, John Wiley & Sons, New York, 1957.  
 S. Schreier: *Compressible Flow*, John Wiley & Sons, New York, 1982.  
 A.H. Shapiro: *The Dynamic and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow*, voi. 1 e 2, The Ronald Press Co., New York, 1954.  
 G.B. Whitham: *Linear and Nonlinear Waves*, John Wiley & Sons, New York, 1974.  
 Dispense del Corso reperibili presso la Biblioteca del Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale.

**GENERATORI DI VAPORE**  
**Prof. Donatello ANNARATONE**

AK0033

*Programma d'esame*

- 1. Classificazione dei generatori di vapore.** Classificazione in base al combustibile impiegato, alla trasmissione del calore, alla circolazione, al contenuto d'acqua e secondo la pressione della camera di combustione.
- 2. Tipi di generatori a tubi d'acqua.** Generatori a convezione. Generatori a irraggiamento. Generatori a ricupero.
- 3. Caratteristiche funzionali e costruttive dei generatori a tubi d'acqua.** Camera di combustione. Pareti tubiere irraggiate. Caratteristiche funzionali del corpo cilindrico. Funzione e costruzione dei collettori. Fascio dei tubi vaporizzatori. Curvatura dei tubi. L'operazione di mandrinatura. Surriscaldatore e risurriscaldatore. Economizzatore. Riscaldatore d'aria. Pericolo di scoppio dei tubi. Rivestimento esterno (cenni).
- 4. Caldaie a tubi da fumo.** Caratteristiche costruttive. Caratteristiche funzionali.
- 5. Caldaie a fluido diatermico.** Fluidi impiegati. Caratteristiche funzionali e costruttive. Vantaggi e svantaggi nei riguardi dei generatori a tubi d'acqua.
- 6. Combustibili.** Combustibili solidi (cenni). Combustibili liquidi. Combustibili gassosi.
- 7. Combustione.** Bruciatori. Caratteristiche della fiamma. Chimica della combustione. Aria teorica e reale. Gas di combustione.  $CO_2$  e incombusti gassosi. Determinazione sperimentale dell'indice d'aria. Caratteristiche fisiche dell'aria e dei gas di combustione.
- 8. Trasmissione del calore.** Adduttanza dell'acqua e del vapore. Adduttanza dei gas di combustione e dell'aria all'interno dei tubi. Adduttanza dei gas di combustione e dell'aria che investono un fascio tubiero. Calore irraggiato dai gas di combustione. Trasmittanza nei fasci tubieri a tubi lisci. Trasmittanza nei fasci tubieri alettati. Differenza media logaritmica di temperatura. Calcolo della temperatura di uscita dei gas da un fascio tubiero o da un recuperatore di calore. Confronto fra la disposizione in fila e la disposizione a quinconce. Trasmissione del calore nella camera di combustione dei generatori a tubi d'acqua e delle caldaie a fluido diatermico, nei surriscaldatori e nei fasci tubieri vaporizzatori. Trasmissione del calore nel focolare delle caldaie a tubi da fumo e nelle sezioni convettive delle stesse. Trasmissione di calore nei canali di certe caldaie a ricupero. Camera di postcombustione per funzionamento con turbogas. Trasmissione del calore negli economizzatori e nei riscaldatori d'aria.
- 9. Rendimento del generatore.** Definizione del rendimento. Perdite per incombusti. Perdite per calore sensibile. Perdite per irraggiamento esterno. Perdite varie. Determinazione del rendimento.

**10. Calcolo fluidodinamico.** Perdite di carico distribuite all'interno dei tubi o dei condotti. Perdite di carico concentrate. Perdita di carico attraverso i fasci. Circolazione naturale.

**11. Materiali impiegati nella costruzione.** Caratteristiche meccaniche a caldo degli acciai. Acciai al carbonio. Acciai debolmente legati. Acciai austenitici. Acciai refrattari. Materiali refrattari e isolanti (cenni).

**12. Dimensionamento delle parti in pressione.** Norme vigenti in Italia. Criteri di verifica. Sollecitazione ammissibile. Cilindri premuti dall'interno. Influenza delle forature. Fondi bombati. Fondi piani. Focolari delle caldaie a tubi da fumo. Piastre tubiere.

**13. Strutture, tubazioni esterne, condotti.** Strutture portanti (cenni). Tubazioni esterne (cenni). Condotti (cenni).

**14. Apparecchiature di misura, controllo, protezione e regolazione.** Apparecchi di misura e controllo.

Apparecchiature di protezione. Valvole di sicurezza. Regolazione automatica (cenni).

#### *Esercitazioni*

Consistono in calcoli termodinamici di progetto e di verifica di caldaie o parti di caldaia, in calcoli fluidodinamici e in verifiche di resistenza di parti in pressione.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale

#### *Libri di testo*

D. Annaratone - *Generatori di vapore* (2 volumi) - Ed. CLUP e dispense.

## **GEOFISICA APPLICATA**

**AX0012**

**Prof. Luigi ZANZI**

#### *Programma d'esame*

**1) Generalità.** Introduzione ai metodi di prospezione ed alle applicazioni per l'Ingegneria Civile ed Ambientale.

**2) Richiami di matematica.** Trasformata di Fourier. Convoluzione, autocorrelazione e correlazione mutua. Segnali analogici e digitali: campionamento, teorema di Nyquist.

**3) Proprietà elastiche delle rocce.** Corpi elastici. Tensioni. Deformazioni. Onde longitudinali e onde trasversali. Velocità delle onde in relazione a compattazione, porosità, fratturazione, saturazione. Divergenza sferica. Teoria dei raggi e principio di Huyghens. Riflessione, rifrazione e diffrazione. Coefficienti di riflessione e trasmissione. Modi d'onda particolari: head waves, onde di Rayleigh.

**4) Metodi sismici.** Sorgenti di onde sismiche: impulsive e a vibrazione. Sismografi, geofoni e idrofon. Apparecchiature di registrazione. Stendimenti e procedure di acquisizione. Copertura multipla e stacking chart. Filtraggio dei disturbi superficiali: pattern di geofoni. Risoluzione verticale e orizzontale. Acquisizioni in mare: Rilievi **3D**. **Sismica a rifrazione:** estrazione dei primi arrivi, metodi reciproci (Plus-Minus e GRM). **Sismica a riflessione:** scopo delle elaborazioni, analisi di velocità, correzioni dinamiche, soppressione delle multiple, stack, migrazione. **Esempi di applicazione:** studio del basamento, costruzione di strade e dighe, prospezioni in fase di scavo di gallerie, studi di stabilità del terreno, falde acquifere e campi geotermici, selezione dei siti per le discariche, ricerca di idrocarburi, ricerche archeologiche.

5) **Proprietà elettriche delle rocce.** Resistività dei minerali e dei fluidi. Resistività delle rocce in relazione a porosità e fratturazione (legge di Archie). Costante dielettrica e permeabilità magnetica delle rocce. Potenziale elettrico in mezzi omogenei isotropi. Teorema di univocità. Potenziale in mezzi stratificati: metodo della sorgente immagine.

6) **Metodi elettrici. Metodo dei potenziali spontanei:** fenomeni di ossidoriduzione in corpi mineralizzati, apparecchiature di misura (voltmetri, elettrodi impolarizzabili), interpretazione delle misure. **Misure di resistività:** dispositivi usati (Wenner, Schlumberger, doppio dipolo), resistività apparente e fattore geometrico, sondaggi verticali e orizzontali, interpretazione delle misure con calcolo di modelli per contatti orizzontali e verticali e tramite pseudosezioni. **Metodo della polarizzazione indotta:** principio di funzionamento, polarizzazione di membrana, polarizzazione di elettrodo, misure nel tempo e nelle frequenze. **Esempi di applicazione:** ricerca di minerali metallici, localizzazione di rifiuti metallici, studio del basamento, falde acquifere, inquinamento delle falde, ricerche archeologiche.

7) **Metodi elettromagnetici.** Equazioni di Maxwell e ipotesi di quasi-stazionarietà. Metodi di misura e apparecchiature: **misure di conduttività, metal detectors, misure di direzione del campo, metodo VLF-EM, metodo AFMAG, metodo HLEM, metodo TDEM.** Misure da aereo o elicottero. **Esempi di applicazione:** falde acquifere, intrusioni di acqua salata, controllo dei contaminanti (LNAPL), localizzazione di oggetti metallici e residuati bellici, localizzazione di tubature metalliche.

8) **Cenno al metodo magnetotellurico.**

9) **Ground Penetrating Radar (GPR).** Principio e strumentazione. Procedure di acquisizione. **Esempi di applicazione:** studio del basamento, misure di fratturazione della roccia, falde acquifere, controllo dei contaminanti (LNAPL), manutenzione di strade e ponti, localizzazione di tubature e opere di scavo, localizzazione di oggetti sepolti (rifiuti, residuati bellici), ricerche archeologiche, misure di spessore dei ghiacciai.

10) **Cenno al metodo gravimetrico.**

11) **Misure in pozzo e tecniche tomografiche.** Metodi sismici: check shot, VSP e tomografia. Metodi sonici: sonic log e tomografia sonica. Metodi elettrici. Metodi radar. **Esempi di applicazione:** costruzione di gallerie, manutenzione di opere civili (dighe, pilastri, monumenti).

12) **Esempi di applicazione integrata di metodi geofisici.** Problemi di inquinamento, falde acquifere, costruzione di gallerie, ricerche archeologiche.

#### *Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni per il progetto di prospezioni geofisiche e per l'analisi dei dati e la loro interpretazione. Una parte consistente di queste esercitazioni sarà svolta nelle aule informatizzate utilizzando prodotti software specifici.

Nell'ambito delle esercitazioni gli allievi potranno partecipare o assistere a esperimenti di acquisizione e visitare i laboratori e le attrezzature di alcune ditte del settore.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale.

#### *Libri consigliati*

P. Kearey and M. Brooks: *An Introduction to Geophysical Explorations*, Blackwell Scientific Publications. Copia delle trasparenze utilizzate dal docente è reperibile presso la CUSL.

## **GEOLOGIA APPLICATA**

**AY0010**

(per allievi in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio e Ingegneria Civile (con esclusione deH'ind. idraulico))

**Prof. Vincenzo FRANCANI**

### *Programma d'esame*

#### **1. Geologia generale (elementi di litologia e geologia).**

- 1.1 Costituzione della terra
- 1.2 Fenomeni endogeni principali
- 1.3 Minerali delle rocce, riconoscimento, utilizzi
- 1.4 Terre e rocce, riconoscimento, proprietà tecniche, utilizzi
- 1.5 Elementi fondamentali di tettonica, stratigrafia, geomorfologia

#### **2. Prospezione Geologica.**

- 2.1 Il rilevamento geologico di superficie
- 2.2 Fotogeologia
- 2.3 Sezioni geognostiche
- 2.4 Carte geologiche e geotematiche
- 2.5 Studio geologico delle pianure alluvionali, delle aree moreniche, dei suoli, delle aree montuose, delle aree desertiche, delle zone vulcaniche, delle coste marine
- 2.6 Nozioni sulle prospezioni geoelettriche, geosismiche e gravimetriche e sui loro impieghi
- 2.7 Correlazioni, elementi di geocronologia, datazione assoluta
- 2.8 Perforazioni a percussione e rotazione
- 2.9 Impieghi e costi delle perforazioni nella prospezione geologica, scelta dei metodi di perforazione
- 2.10 Campagne di sondaggi, impostazione delle prospezioni geologiche di dettaglio, studi di laboratorio, elaborazioni finali

#### **3. Idrogeologia generale.**

- 3.1 Le acque nelle terre sciolte
- 3.2 Le acque nelle rocce
- 3.3 Sorgenti: tipologia, ricerca e protezione

#### **4. Idrogeologia applicata.**

- 4.1 Ricerca idrica nelle pianure alluvionali e aree moreniche
- 4.2 Ricerca idrica nelle valli alpine e appenniniche, nelle zone montuose
- 4.3 Problemi idrogeologici delle zone costiere
- 4.4 Problemi idrogeologici delle aree desertiche
- 4.5 Idrochimica applicata agli studi idrogeologici
- 4.6 Studi idrogeologici per gli inquinamenti e per i progetti di smaltimento dei rifiuti inquinanti
- 4.7 Studi idrogeologici nei progetti per serbatoi artificiali
- 4.8 Problemi idrogeologici delle aree paludose
- 4.9 Problemi idrogeologici delle aree urbane e industriali; ricarica degli acquiferi

#### **5. Geologia tecnica.**

- 5.1 Influenza dell'evoluzione geologica, del clima, delle acque superficiali e sotterranee, sulle proprietà tecniche di rocce e terre
- 5.2 Neotettonica
- 5.3 Dinamica ed evoluzione dei versanti, dei litorali, delle aree lacustri e vulcaniche, di fiumi e ghiacciai
- 5.4 Studi geologici per l'individuazione e la cartografia dei dissesti
- 5.5 Studio geologico delle frane e dei fenomeni di instabilità

- 5.6 Indagini geologiche per progetti di sistemazione dei versanti
- 5.7 Indagini geologiche per la progettazione di edifici e per studi di fondazioni
- 5.8 Studi geologici nell'ambito di progetti urbanistici
- 5.9 Prospezione per cave e miniere; studi per la soluzione dei problemi ambientali connessi
- 5.10 Indagini geologiche per la costruzione di strade e per ferrovie e aeroporti.
- 5.11 Studi geologici per gallerie
- 5.12 Studi geologici per la progettazione di opere marine, fluviali e ponti

## **6. Geologia ambientale.**

- 6.1 Indagini geologiche per la previsione dell'impatto ambientale di progetti urbanistici ed opere civili in aree di elevato interesse ecologico
- 6.2 Indagini geologiche per la protezione di aree esposte a calamità naturali (terremoti e alluvioni)

### *Esercitazioni*

Riconoscimento pratico dei minerali litogeni e delle rocce. Problemi di stratimetria, rilevamento geologico e stesura di carte e sezioni geologiche. Esame sul terreno di aspetti e problemi geologico-applicativi. Stesura di relazioni su problemi geologico-applicativi

### *Modalità d'esame*

Al termine delle esercitazioni, verrà svolta una prova pratica che comporta il riconoscimento di rocce e la stesura di sezioni geologiche; tale prova fornirà, insieme al colloquio d'esame, gli elementi per il giudizio finale.

### *Libri consigliati*

L.Scusi, M. Papini: *Il rilevamento geologico-tecnico* (Geologia Applicata Città Studi Edizioni)  
V.Francani: *Idrogeologia generale*, Città Studi Edizioni.

## **GEOMETRIA**

**AP0008**

(per allievi dei Corsi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il territorio, Civile ed Edile)

**Proff. Renato BETTI, Maria Luisa VERONESI BERNASCONI, Raffaele SCAPELLATO**

### *Programma d'esame*

#### **Algebra lineare:**

Elementi di calcolo combinatorio. Matrici, determinanti, sistemi di equazioni lineari; teoremi di Cramer e di Rouchè-Capelli: somma e prodotto di matrici, matrice inversa; equazione caratteristica, autovalori ed autovettori di una matrice quadrata; matrici simili, diagonalizzabili, ortogonali, simmetriche reali; trasformazioni ortogonali, forme quadratiche, teorema di Cayley-Hamilton. Spazi vettoriali e applicazioni lineari.

#### **Geometria analitica del piano:**

Il piano complesso; rappresentazioni analitiche delle rette; cambiamenti del sistema di riferimento. Rappresentazioni analitiche delle curve piane: cenni sulle curve algebriche, esempi di curve trascendenti, circonferenza, ellisse, iperbole, parabola. Riduzione a forma canonica dell'equazione di una conica. Elementi impropri, coordinate omogenee, fasci di coniche; polarità piana.

#### **Geometria analitica dello spazio:**

Rappresentazioni analitiche di piani e rette; cambiamenti del sistema di riferimento. Rappresentazioni analitiche di curve e superfici: cenni alle superfici algebriche, sfera, cilindri, coni, superfici di rotazione. Quadriche, riduzione a forma canonica dell'equazione di una quadrica.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale preceduta da una prova scritta. Le due prove devono essere sostenute nel medesimo appello.

*Libri consigliati*

R. Betti: *Lezioni di Geometria*, Voli. I e II, Masson, Milano.

E. Marchionna, U. Gasapina: *Appunti ed esercizi di Geometria*, Voli. I e II, Masson, Milano.

U. Gasapina: *Algebra delle matrici*, Masson, Milano.

A. Varisco, E. Dedò: *Algebra lineare*, II ed., CittàStudi, Milano.

A. Varisco: *Temi d'esame di geometria*, II ed., CittàStudi, Milano.

**GEOMETRIA****AP0008**

(per allievi di Ingegneria Biomedica, Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni)

**Proff. Lucia ALESSANDRINI, Jolanda GALBIATI MARINONI, Rodolfo TALAMO, Ada VARISCO**

*Programma d'esame*

Cenni di calcolo combinatorio. Strutture algebriche. Matrici. Operazioni sulle matrici. Determinante di una matrice quadrata. Matrice inversa. Rango di una matrice. Spazi vettoriali ed applicazioni lineari. Nucleo ed immagine. Sistemi lineari. Teoremi di Cramer e di Rouchè-Capelli.

Polinomio caratteristico, autovalori ed autovettori. Polinomio minimo.

Matrici simili. Diagonalizzazione e triangolarizzazione di una matrice quadrata. Teorema di Cayley-Hamilton ed applicazioni.

Matrici di Jordan.

Matrici ortogonali e sistemi ortonormali.

Forme quadratiche. Riduzione a forma canonica di una forma quadratica.

Primi elementi di geometria analitica del piano. Fasci di rette. Curve piane. Curve algebriche e loro principali proprietà. Coniche dal punto di vista elementare: equazioni canoniche, eccentricità, proprietà focali. Riduzione dell'equazione di una conica a forma canonica. Classificazione delle coniche. Coordinate omogenee e punti impropri. Coniche nel piano proiettivo. Riconoscimento delle coniche. Polarità piana e sue principali proprietà. Elementi coniugati rispetto ad una conica. Centro e diametri. Condizioni lineari sui coefficienti di una conica. Fasci e reti di coniche. Triangoli autopolari. Birapporto. Quaterne armoniche. Corrispondenze bilineari. Proiettività, involuzione e loro rappresentazione analitica. Involuzione dei punti reciproci. Involuzione delle rette reciproche. Costruzioni grafiche.

Primi elementi di geometria analitica dello spazio. Equazioni di piani e di rette. Fascio di piani. Angoli di rette e piani. Equazioni di rette e piani orientati. Distanza di un punto da un piano. Minima distanza di due rette sghembe. Trasformazioni di coordinate cartesiane ortogonali. Superfici, linee e loro rappresentazioni analitiche. Sfere, cilindri, coni. Superfici di rotazione. Superfici rigate.

Coordinate omogenee e punti impropri. Superfici algebriche. Tangenti e piano tangente. Quadriche. Riduzione a forma canonica della equazione di una quadrica. Classificazione delle quadriche. Riconoscimento delle quadriche.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale preceduta da una prova scritta.

*Libri consigliati*

E. Dedò, A. Varisco: *Algebra lineare. Elementi ed esercizi*, III Ed., CittàStudi, Milano.

U. Gasapina: *Algebra delle matrici*, Masson, Milano.

E. Marchionna, U. Gasapina: *Appunti ed esercizi di geometria*, Masson, Milano.

A. G. Kuros: *Corso di algebra superiore*, Editori Riuniti, Roma.

C. Gagliardi, L. Grasselli: *Algebra lineare e geometria*, Esculapio, Bologna.

A. Varisco: *Temi d'esame di Geometria*, II ed., CittàStudi, Milano.

A. Varisco: *Appunti di Geometria Proiettiva*, CittàStudi, Milano

A. Varisco: *Curve e Superficie* Esculapio, Bologna.

**GEOMETRIA****AP0008**

(per gli allievi di Ingegneria Chimica, Elettrica, Nucleare e dei Materiali)

**Prof.ssa Norma ZAGAGLIA SALVI***Programma d'esame*

**GEOMETRIA ANALITICA DEL PIANO E DELLO SPAZIO:** segmenti orientati; relazioni segmentarie. Angolo di due rette; relazioni angolari. Proiezioni. Ascisse sulla retta; trasformazioni di ascisse. Ascisse angolari; coordinate tangenti in un fascio. Coordinate cartesiane nel piano e nello spazio. Distanza di due punti sulla retta, sul piano e nello spazio. Coseni direttori di una retta nel piano e nello spazio; angolo di due direzioni. Vettori liberi ed applicati; componenti di un vettore; somma di vettori; multiplo di un vettore; vettori componenti. Trasformazione di coordinate. Prodotto scalare e vettoriale di due vettori; prodotto misto di tre vettori. Equazione generale ed equazione normale di una retta nel piano; altre forme dell'equazione di una retta; distanza di un punto da una retta; questioni riguardanti una coppia di rette; fasci di rette. Rappresentazione di un piano nello spazio; questioni riguardanti una coppia di piani. Rappresentazione di una retta nello spazio; passaggio dalle equazioni generali alle normali. Distanza di un punto da un piano. Fasci e stelle di piani. Coordinate polari nel piano; coordinate cilindriche e polari nello spazio. Studio di alcuni luoghi geometrici nel piano; circonferenza; ellisse; iperbole; parabola; equazioni polari dell'ellisse, dell'iperbole, della parabola. Curve algebriche e trascendenti. Curve diagramma. Alcuni tipi notevoli di equazioni. Superfici e curve nello spazio; coni; cilindri; superfici di rotazione. Riduzione a forma canonica e classificazione delle coniche. Riduzione a forma canonica e classificazione delle quadriche.

**ALGEBRA LINEARE:** Principali strutture algebriche. Spazi vettoriali; sottospazi; spazi intersezione; somma e somma diretta di sottospazi. Spazio vettoriale delle matrici; prodotto di matrici; matrici diagonali, scalari, triangolari, ortogonali. Matrici a blocchi. Dipendenza ed indipendenza lineare. Basi e dimensione di uno spazio vettoriale; cambiamento di base. Rango di una matrice. Applicazioni lineari tra spazi vettoriali e matrici associate; matrici equivalenti e matrici simili. Determinante di una matrice; proprietà dei determinanti; calcolo con l'uso dei determinanti del rango di una matrice. Matrici invertibili. Sistemi lineari; metodo di eliminazione di Gauss. Polinomio caratteristico di una matrice; autovalori ed autovettori. Diagonalizzazione delle matrici. Spazi vettoriali euclidei; basi ortogonali ed ortonormali; procedimento di ortogonalizzazione di Gram-Schmidt. Spazi vettoriali unitari; matrici hermitiane ed unitarie. Operatori normali e teorema spettrale. Diagonalizzazione di una matrice reale simmetrica. Espressione canonica delle forme bilineari reali simmetriche e delle forme quadratiche. Forme reali quadratiche definite positive, negative e semidefinite.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale preceduta da una prova scritta.

*Libri consigliati*

B. Ricetti Zucchetti, G. Tazzi Cantalupi: *Algebra Lineare - Geometria Analitica - Lezioni*, Edizioni La Goliardica Pavese, Pavia.

B. Ricetti Zucchetti, G. Tazzi Cantalupi: *Algebra Lineare - Geometria Analitica - Esercizi*, Edizioni La Goliardica Pavese, Pavia.

E. Dedò, A. Varisco: *Algebra Lineare, Elementi ed Esercizi*, CLUP, CittàStudi.

**GEOMETRIA (1/2 annualità)****AP0100**

(per allievi in Ingegneria Areospaziale, Gestionale e Meccanica)

**Proff. Ernesto DEDÒ, Eziamaria ARAGNO, Claudio PERELLI CIPPO, Raffaele SCAPELLATO**

*Programma d'esame***ALGEBRA LINEARE**

Insiemi: Relazioni di equivalenza, strutture algebriche fondamentali.

Matrici: Generalità. Matrice trasposta. Matrici simmetriche ed emisimmetriche. Operazioni sulle matrici. Determinante e rango. Matrice inversa. Sistemi lineari. Equazione caratteristica, autovalori ed autovettori di una matrice quadrata. Teorema di Cayley-Hamilton. Similitudine tra matrici. Diagonalizzazione. Matrici ortogonali. Diagonalizzazione ortogonale.

Spazi vettoriali. Sottospazi. Dipendenza lineare. Basi e dimensione. Applicazioni lineari tra spazi vettoriali e matrici associate. Cambiamento di base. Prodotto scalare. Forme quadratiche.

**GEOMETRIA ANALITICA**

Generalità: Vettori geometrici. Coordinate cartesiane e oblique. Spazi affini ed euclidei. Parallelismo.

Geometria del piano: Curve piane. Curve algebriche. Classificazione e studio delle coniche: loro forma canonica.

Geometria dello spazio: Coseni direttori di una retta e di un piano. Equazione generale del piano.

Fasci di piani ed iperpiani. Equazioni della retta. Curve e superfici: loro rappresentazione analitica.

Spazio complesso. Superfici algebriche. Sfere. Superfici rigate: cilindri, coni. Superfici di rotazione. Quadriche: classificazione e principali proprietà.

*Libri consigliati*

E. Barletta, S. Dragomir: *Algebra lineare e Geometria analitica in  $R^n$* , Esculapio

R. Betti: *Lezioni di Geometria*, Masson

F. Colombo, I. Sabadini: *Esercizi di Geometria con richiami teorici*, Centro Innovazione Lecco

E. Dedò: *Rette e piani*, Esculapio

E. Dedò: *Spazi vettoriali*, Esculapio

E. Dedò, D. Torri: *Esercizi di Geometria* voli. I e II, Esculapio 1996

E. Dedò, A. Varisco: *Algebra lineare*, 3ª ed. Città Studi 1994.

W. Pacco, R. Scapei lato: *Algebra lineare e Geometria*, vol. I e II Esculapio

B. Ricetti Zucchetti, G. Tazzi Cantalupi: *Algebra lineare e geometria analitica*, La Goliardica Pavese, 1992.

A. Varisco: *Temi d'esame di geometria*, Città Studi, Milano.

A. Varisco: *Curve e superficie* Esculapio

## GEOTECNICA

AN0016

Prof. Roberto NOVA

### Programma d'esame

1. **Osservazioni introduttive:** formazione e classificazione delle terre, trasmissione dello sforzo, principio degli sforzi efficaci, redistribuzione dello stato di sforzo tra fase solida e fase liquida.
2. **Impostazione dei problemi al contorno in meccanica delle terre:** equazioni di equilibrio, congruenza, sforzi-deformazioni e continuità. Forma incrementale del legame costitutivo per le terre. Forze di filtrazione. Legge di Darcy. Disaccoppiamento del problema statico da quello idraulico.
3. **Moti di filtrazione:** equazione di flusso a regime, reticolo di flusso, materiale anisotropo, materiale non omogeneo, determinazione sperimentale della permeabilità, gradiente critico, sicurezza al sifonamento.
4. **Consolidazione:** consolidazione normale e sovraconsolidazione, coefficiente di compressibilità volumetrica, equazione della consolidazione per flusso unidirezionale, soluzione esatta della consolidazione in un edometro, determinazione sperimentale del coefficiente di consolidazione, consolidazione secondaria.
5. **Resistenza e deformabilità delle terre:** sforzi e deformazioni; apparecchio triassiale, concetto di stress path; coefficiente  $K_0$ , pressiometro, la prova edometrica come prova triassiale di consolidazione ad espansione laterale impedita; prove drenate e non drenate per sabbie, argille normalmente consolidate ed argille sovraconsolidate; concetto di linea dello stato critico; parametri per la determinazione della pressione neutra, apparecchiature per la determinazione della resistenza delle terre diverse dall'apparecchio triassiale. Dipendenza di angolo di attrito e coesione non drenata dal tipo di prova effettuata per determinarli. Determinazione di  $c_u$  e  $\langle \lambda \rangle'$  in sito.
6. **Interpretazione dei risultati sperimentali:** il modello di Cam Clay.
7. **Teoria della plasticità e meccanica delle terre:** concetto generale di analisi limite per materiali standard e non standard; metodo di Coulomb, metodo di Rankine. spinte attive e passive, discontinuità dello stato di sforzo, influenza dell'attrito terra-muro, metodo delle linee caratteristiche, metodo dei campi associati, espressione della capacità portante di una fondazione.
8. **Applicazioni della teoria della plasticità:** spinte sui muri di sostegno (caso generale), influenza di opere di drenaggio sulle spinte, muri a gravità, diaframmi, tiranti; scavi, altezza limite di uno scavo, scavi sbadacchiati; stabilità di scarpate di lunghezza indefinita, stabilità di rilevati di altezza limitata, metodo di Bishop; capacità portante di fondazioni superficiali, carico eccentrico e carico inclinato, fondazioni profonde e pali; discussione generale sulla definizione del coefficiente di sicurezza e sui parametri sperimentali da utilizzare nei calcoli.
9. **Teoria dell'elasticità e meccanica delle terre:** elasticità lineare, distribuzione dello stato di sforzo sotto un carico concentrato e sotto un carico distribuito uniformemente, interazione terreno-struttura, elasticità non lineare, uso degli elementi finiti.
10. **Applicazioni della teoria dell'elasticità:** cedimenti di fondazioni superficiali; terreni argillosi, cedimento immediato, cedimento dovuto alla consolidazione, metodo di Skempton e Bjerrum,

metodo dello stress path; cedimenti di fondazioni su sabbia, determinazione del modulo elastico in sito, metodo di Schmertmann; velocità di cedimento, prevenzione dei cedimenti, cedimenti di fondazioni profonde.

#### *Modalità d'esame*

Per essere ammesso all'esame orale il candidato deve superare una prova scritta.

#### *Libri consigliati*

Colombo P.: *Elementi di Geotecnica*, Zanichelli, 1974.

Craig R.F.: *Soil Mechanics*, Van Nostrand Reinhold, 1974.

Lambe T.W., Whitman R.V.: *Soil Mechanics*, Wiley, 1968.

Lancellotta R.: *Geotecnica*, Zanichelli, 1991.

Simons N.E. - Menzies B.K., *A Short Course in Foundation Engineering*, Newnes-Butterworth, 1977.

Sono inoltre disponibili presso la CLUP le dispense del corso curate dal docente e presso la CUSL una raccolta di temi d'esame curata dall'ing. C. di Prisco

## **GEOTECNICA**

**AN0047**

**Prof.ssa Annamaria CIVIDINI**

#### *Programma d'esame*

##### **Osservazioni introduttive.**

Definizioni generali e richiami di geologia sulla formazione dei terreni.

Identificazione e classificazione dei terreni.

##### **Sistemi plurifase.**

Principio degli sforzi efficaci. Tensioni geostatiche.

Condizioni drenate e non drenate.

##### **Problemi al contorno in meccanica delle terre. Sistemi monofase e bifase in campo elastico, lineare.**

Problema disaccoppiato di flusso. Moti di filtrazione in regime confinato e non confinato. Effetti del moto di filtrazione sullo stato tensionale.

Analisi dello stato di sforzo e di deformazione. Richiami di teoria dell'elasticità. Problema di Bousinesq. Stati tensionali per carichi concentrati e uniformemente distribuiti.

La consolidazione quale problema di deformazione e flusso. Mezzo bifase continuo elastico in regime di deformazione piana: analisi di tipo disaccoppiato e cenni per l'approccio accoppiato.

##### **Comportamento meccanico delle terre ed interazione col fluido interstiziale.**

Deformabilità dei terreni coesivi e non coesivi: compressibilità volumetrica ed edometrica. Effetti viscosi e compressibilità secondaria. Resistenza al taglio in condizioni drenate e non drenate. Parametri per la definizione delle pressioni interstiziali.

Prove di laboratorio per la determinazione dei parametri di deformabilità e di resistenza. Prove edometriche. Prove triassiali e di taglio diretto.

Determinazione sperimentale del coefficiente di permeabilità. Prove dirette e prove indirette.

##### **Teoria della plasticità in meccanica delle terre.**

Stati limite attivo e passivo. Metodi dell'analisi limite. Metodi delle linee caratteristiche, etc.

**Indagini geotecniche in sito.**

Sondaggi e campionamento. Misura delle pressioni neutre. Prove di permeabilità in situ. Prove penetrometriche statiche e dinamiche. Prove scissometriche. Programmazione di indagini geotecniche.

**Problemi applicativi.**

Scavi sostenuti e no. Influenza dell'attrito terra-parete e delle opere di drenaggio sulle spinte. Opere di sostegno rigide. Cenni per le opere di sostegno flessibili. Stabilità dei versanti naturali ed artificiali. Scelta dei parametri da introdurre nel calcolo e definizione del coefficiente di sicurezza. Fondazioni superficiali. Valutazione della capacità portante. Calcolo dei cedimenti in terreni coesivi e non coesivi. Scelta dei parametri da introdurre nel calcolo e definizione del coefficiente di sicurezza.

Pali di fondazione. Valutazione della capacità portante limite. Prove di carico. Scelta dei parametri da introdurre nel calcolo e definizione del coefficiente di sicurezza.

Cenni sulle tecniche di trattamento e consolidamento dei terreni.

*Modalità d'esame*

Per essere ammessi all'esame orale è necessario aver superato una prova scritta da sostenersi nel medesimo appello.

*Esercitazioni*

Durante le esercitazioni verranno sviluppati e discussi esercizi ed applicazioni degli argomenti trattati a lezione. Saranno anche effettuate alcune visite in laboratorio.

*Libri consigliati*

A chi desiderasse approfondire gli argomenti trattati nelle lezioni si consiglia la consultazione dei seguenti testi:

K. Terzaghi e R.B. Peck: *Geotecnica*. U.T.E.T., 1975 (in edizione originale: *Soil Mechanics in Engineering Practice* - J. Wiley, 1967).

T.W. Lambe e R.V. Whitman: *Soil Mechanics*. J. Wiley, 1980.

**GEOTECNICA NELLA DIFESA DEL TERRITORIO****AN0108****Prof. Claudio DI PRISCO***Programma d'esame*

**A. Stabilità dei pendii in terra ed in roccia.** Le frane: classificazione, meccanismi, indagini. Richiami dei metodi di calcolo tradizionali. Metodi di calcolo automatico per problemi bi- e tridimensionali. Ricerca della superficie di scorrimento di maggior pericolo. Analisi dei moti di filtrazione con superficie libera. Influenza della distribuzione della pressione neutra sulla stabilità di pendii. Stabilità di argini e di dighe in terra. Opere di stabilizzazione delle frane. Analisi di casi di interesse pratico. Opere di difesa dei versanti.

**B. Neve e valanghe.** Comportamento meccanico della neve. Fenomeni di valanga. Valutazione del rischio e opere di difesa dalle valanghe.

**C. Fenomeni di subsidenza.** Richiami della teoria della consolidazione. Metodi numerici per l'analisi della consolidazione. Subsidenza dovuta alla variazione monotona o ciclica del livello di falda. Subsidenza causata dallo sfruttamento di depositi naturali sotterranei. Altre cause di subsidenza. Modelli analogici per la subsidenza di grandi aree. Discussione di casi di interesse pratico.

**D. Protezione dall'inquinamento.** Percolazione di scorie chimiche da discariche. Determinazione della permeabilità del terreno ad agenti chimici. Prove in sito ed in laboratorio. Stabilità geotecnica delle discariche. Uso di scorie solide per la costruzione di opere geotecniche.

**E. Comportamento meccanico del terreno in presenza di carichi ciclici.** Discussione di dati sperimentali. Richiami alle prove in sito ed in laboratorio e alle leggi costitutive. Fenomeno della liquefazione: effetti sulla stabilità dei pendii.

**F. Opere geotecniche per la protezione dell'ambiente.** Applicazioni di geosintetici nelle dighe in terra, argini, opere di stabilizzazione.

**G. Indagini e prove geotecniche in situ.** Sondaggi e campionamenti. Prove penetrometriche, dinamiche e statiche. Piezocono. Pressiometro. Dilatometro. Prove di fratturazione idraulica. Piezometri.

**H. Problemi geotecnici dei centri abitati.** Esempi di intervento.

#### *Esercitazioni*

Durante le esercitazioni verranno ripresi alcuni argomenti tratti nel corso delle lezioni e verrà sviluppata una tesina a carattere progettuale.

#### *Libri consigliati*

Lancellotta: *Geotecnica*, Zanichelli.

Lambe-Whitman: *So il Mechanics*, John Wiley, New York. Hoek-Bray: *Rock Slope Engineering*, Inst. Mining & Metallurgy, London.

Schuster-Krizek: *Landslides Analysis and Control*, Nat. Academy of Sciences, Washington D.C.

Perla-Martinelli: *Manuale delle valanghe*, Reg. Veneto, Dip. Foreste (Centro Sperimentale di Arabba).

Soranzo-Menegus: *Criteri per il dimensionamento di opere di difesa dai massi e dalle valanghe*, Reg. Veneto, Dip. Foreste (Centro Sperimentale di Arabba).

Christensen, Cossu & Stegmann (eds.): *Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*, Academic Press, London.

Cestari: *Prove geotecniche in situ*, Geo-Graph, Segrate, 1990.

Durante il corso verranno forniti appunti nonché indicazioni bibliografiche sui singoli argomenti.

## **GESTIONE AZIENDALE**

**AQ0006**

(per gli allievi di Ingegneria Elettrica, Elettronica e Informatica)

**Prof. Emilio BARTEZZAGHI**

#### *Programma d'esame*

### **PARTE PRIMA - IL MANAGEMENT: ELEMENTI GENERALI**

#### **1) Le decisioni manageriali e la modellizzazione dei problemi gestionali.**

Le fasi del processo decisionale. Razionalità completa e razionalità limitata. La decisione come processo di controllo. Le modalità di coordinamento e controllo. La modellizzazione e la tipologia dei modelli. I modelli previsionali (serie temporali e previsione tecnologica). I modelli di simulazione.

#### **2) Strategia e pianificazione strategica.**

Il processo di pianificazione strategica. La definizione della strategia a livello di *business*. Business e unità di business. Analisi competitiva. Catena del valore e strategie competitive di base. La definizione della strategia *corporate*: concetti fondamentali; matrici di portafoglio. La definizione delle strategie funzionali: obiettivi di prestazione e le leve delle strategie *finanziaria*, *tecnologica*, di *marketing*, di *produzione e logistica (operations)*, degli *approvvigionamenti* e del *personale*.

**PARTE SECONDA - IL MANAGEMENT FUNZIONALE: SVILUPPO DI ALCUNI TEMI****3) Produzione e Logistica.**

Strategia della produzione. Prestazioni e leve del sistema produttivo. Tipologia dei sistemi produttivi e logistici. L'innovazione organizzativa-gestionale (l'approccio Just-in-Time) e l'innovazione tecnologica. La valutazione degli investimenti tecnologici.

La gestione dei materiali. Sistemi di gestione delle scorte: Q-System, P-System. Sistemi di pianificazione delle scorte (metodi fasati nel tempo). Pianificazione dei fabbisogni di materiali (MRP). Sistemi di riordino "pulì". Programmazione e controllo della produzione. Concetti generali. Livelli temporali della programmazione. Schema generale della programmazione della produzione (MRP II).

**4) Marketing.**

Il processo di pianificazione di marketing. Analisi della struttura e del comportamento del mercato. Ricerca e selezione delle opportunità di mercato. Misura e previsione della domanda. Segmentazione e definizione dei mercati obiettivi e posizionamento. Le variabili del marketing mix e lo sviluppo delle strategie di marketing.

**PARTE TERZA - L'INNOVAZIONE MANAGERIALE****5) La gestione per processi.**

I processi e le funzioni. Definizione di processo aziendale, i confini, le risorse, le interdipendenze. Le prestazioni: i costi, la qualità di prodotto, di processo e totale. Gli approcci di Qualità Totale e la gestione per processi. Il *Lead Time* come parametro chiave della gestione per processi. Fattori strutturali e scelte organizzative nell'ambito della gestione per processi.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni sono considerate il naturale complemento delle lezioni e tratteranno esempi e studi di casi specifici.

*Modalità d'esame*

L'esame comprende una prova scritta e una orale. La prima parte della prova orale consiste nello svolgimento di un argomento a scelta da parte del candidato o alternativamente nella discussione di un elaborato scritto presentato dal candidato.

*Libri consigliati*

- A. De Maio, E. Bartezzaghi, O. Brivio, G. Zanmarini: *Informatica e processi decisionali*, Angeli, 1982.  
 A.C. Hax e N.S. Majluf: *La gestione strategica dell'impresa*, Ed. Scientifiche Italiane, Napoli, 1991.  
 E. Bartezzaghi: *Il sistema produttivo*, dispensa, 1989.  
 R.W. Schmenner: *Produzione. Scelte strategiche e gestione operativa*, Ed. Sole240re, 1987.  
 P. Kotler: *Marketing Management*, Isedi, 1986.  
 E. Bartezzaghi, G. Spina, R. Verganti: *Nuovi modelli di impresa e tecnologie di integrazione*, Angeli 1994.

Un programma dettagliato, con l'indicazione dei riferimenti bibliografici per ogni argomento, è disponibile presso la segreteria didattica del Dipartimento di Economia e Produzione.

**GESTIONE AZIENDALE****AQ0006**

(per gli allievi di Ingegneria Gestionale)

**Prof. Adriano DE MAIO***Programma d'esame***1) Il processo decisionale.**

L'azienda come sistema. I processi aziendali. Il sistema di governo dei processi. Il processo decisionale: lo schema logico. Il ruolo dei diversi attori. Il processo decisionale a più attori (cenni alla teoria dei giochi). Sistemi gestionali di governo in anello aperto, in feedback ed in feedforward. L'apprendimento.

**2) Il processo di pianificazione strategica.**

Il processo di pianificazione strategica. L'oggetto della pianificazione con particolare riguardo alle variabili tecnologiche. Il modello di Ansoff. Principi di base logico-organizzativi. Il modello di Vancil-Lorange. Il SOR. Strumenti, metodi e tecniche di supporto.

**3) La variabile tecnologica come leva competitiva.**

Metodi di analisi interna delle capacità innovative. Metodi di analisi esterna dei fabbisogni tecnologici e previsione degli sviluppi della tecnologia. Il modello di Von Hippel. Tecniche e principi per stimolare la generazione di alternative tecnologiche e la creatività. Cenni ai metodi per la valutazione di investimenti in tecnologie innovative. Le forme organizzative interne ed esterne per la gestione della tecnologia. L'innovazione di prodotto e l'innovazione di processo.

**4) L'integrazione di competenze e funzioni.**

I processi operativi: elementi costitutivi. Il problema della scomposizione degli obiettivi aziendali: differenziazione disciplinare, segmentazione dei processi e integrazione. Gli approcci alla gestione ed il livello di turbolenza ambientale: dalle strutture, ai processi, alle risorse. Il rapporto fornitore-fruitore come elemento di analisi e progettazione dei processi. Le prestazioni dei processi; il concetto di lead time. Le interazioni fra le strategie funzionali lungo il processo logistico-produttivo. Le interazioni fra le strategie funzionali lungo il processo di sviluppo di nuovi prodotti.

**5) La gestione dell'innovazione e lo sviluppo di nuovi prodotti.**

Innovazione continua e innovazione ad impulso. Le tecniche di supporto al miglioramento continuo. La concezione di progetti di innovazione (identificazione degli obiettivi e dei confini). Cenni alle metodologie di analisi dei processi e criteri di riprogettazione. Il ruolo svolto dalla tecnologia nell'innovazione dei processi. I principi di base del Project Management. Processo di sviluppo di nuovi prodotti: prestazioni e fasi. La gestione dei progetti di sviluppo nuovi prodotti: l'anticipazione e la standardizzazione dei vincoli, overlapping, strategie di prodotto e codesign. Cenni sul multiproject management. L'apprendimento nei processi di innovazione.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni sono momento di approfondimento e di integrazione delle tematiche affrontate nell'ambito delle lezioni.

*Modalità d'esame*

L'esame è composto da una prova scritta ed una prova orale. Ulteriori informazioni sulle modalità d'esame unitamente a copie dei temi d'esame passati sono disponibili presso la segreteria didattica del dipartimento di Economia e Produzione.

*Libri consigliati*

- P Lorange: *Corporate Planning*, Prentice-Hall, 1980.  
R.L. Ackoff: *Creating the corporate future*, John Wiley, 1981.  
R.A. Burgelman, M.A. Maidique: *Strategic Management of Technology and Innovation*, Irwin, 1988.  
B. Brocka, M.S. Brocka: *Quality Management*, Irwin, 1992  
L. Munro-Faure, M. Munro-Faure: *Implementing Total Quality Management*, Pitman 1992.  
E. Von Hippel: *Le fonti dell'innovazione*, McGraw-Hill, 1990.  
A. De Maio, E. Maggiore: *Organizzare per Innovare. Rapporti evoluti clienti-fornitori*. ETAS, Milano, 1992.  
E. Bartezzagni, G. Spina, R. Verganti: *Nuovi modelli d'impresa e tecnologie d'integrazione*, Franco Angeli, Milano, 1994.  
A. De Maio, A. Beliucci, M. Corso, R. Verganti: *Gestire rinnovazione e innovare la gestione*, ETAS, Milano, 1994.  
K.B. Clark, T. Fujimoto: *Product Development Performance*, Harvard Business School Press, Cambridge MA, 1991.  
H.I. Ansoff: *Management Strategico*, ETAS, 1980.

Durante lo svolgimento del corso sono fornite indicazioni bibliografiche specifiche e viene distribuito altro materiale didattico di supporto preparato dal docente.

**GESTIONE DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI****AQ0007****Prof. Antonio ROVERSI***Programma d'esame***1. La progettazione del sistema operativo.**

- a) Definizione dei diversi stadi di sviluppo del prodotto, del processo, degli impianti, della struttura organizzativa.
- b) Necessità di congruenza tra impianto produttivo, il processo prescelto, la struttura organizzativa, lo stadio del ciclo di vita del prodotto.
- c) Analisi dello scenario in cui l'Azienda opera: analisi prodotto mercato. Segmentazione del mercato. Curve di esperienza. Analisi del portafoglio prodotti.
- d) La definizione della missione produttiva: la strategia aziendale e sua congruenza con il sistema operativo. La organizzazione della funzione produzione.

**2. La gestione del sistema operativo.**

- a) La identificazione degli oggetti: materie prime, semilavorati, prodotti finiti, impianti e macchinari. Analisi delle possibili strutture di codifica.
- b) Tipologia produttiva: produzione a catalogo, produzione su specifica commessa del cliente.
- c) La gestione delle scorte nel caso di domanda indipendente: lotto economico di acquisto, scorta di sicurezza, punto di riordino. Criteri previsionali.
- d) Pianificazione dei fabbisogni. La distinta base. L'esplosione ai diversi livelli. La nettificazione dei fabbisogni. Le procedure per la determinazione del flusso dei materiali in Azienda. La programmazione della produzione: determinazione dei lotti ottimali, criteri di sequencing, la saturazione delle risorse produttive.
- e) Il controllo dei risultati: la misura della produttività globale. La contabilità industriale: a costi pieni, direct costing; a costi consuntivi, preventivi, a costi standard. Il controllo di gestione: la misura degli scostamenti di quantità e prezzo. Il problema degli scarti. L'approccio "Activity Based".

f) La manutenzione ed il rinnovo degli impianti industriali. Teoria deH'affidabilità. Sostituzioni preventive. Valutazione delle diverse politiche di manutenzione: preventiva, su condizione. L'individuazione e la gestione dei ricambi industriali.

g) I modelli di produzione eccellenti: l'approccio JIT, TQM, TPM. Il miglioramento continuo. La massimazione del rendimento globale degli impianti: La produzione "tesa".

#### *Modalità d'esame*

Gli allievi presenteranno gli approfondimenti di argomento gestionale sviluppati durante le esercitazioni. Tali approfondimenti saranno esaminati e discussi solo dopo che l'allievo avrà dimostrato la conoscenza degli argomenti trattati nel programma di esame, attraverso il completamento di una prova scritta o mediante un esame orale.

#### *Libri consigliati*

Dispense del corso

A. Roversi e altri: *Manuale delle manutenzioni degli impianti industriali* - F. Angeli Ed.

A. Roversi e altri: *I sistemi produttivi* - ed. ISEDI

Bonazzi: *Il tubo di cristallo*, ed. il Mulino.

Ros e altri: *La macchina che ha cambiato il mondo*, Rizzoli

## **GESTIONE DEI PROGETTI DI IMPIANTO**

**AR0120**

**Prof. Franco CARON**

#### *Programma d'esame*

- Il "progetto" di impianto: definizione, tipologia, attori. Caratteristiche del progetto: processi operativi, gestionali ed organizzativi. Il ciclo di vita dell'investimento, del progetto, dell'impianto. *Project Management* come filosofia gestionale: caratteristiche e aree applicative.
- Le società di Engineering e Contracting. L'iter di acquisizione e realizzazione del progetto. Aspetti operativi, tecnici, organizzativi, economici, finanziari, contrattuali, assicurativi.
- Le fasi caratteristiche del progetto di impianto: ingegneria di base, ingegneria di dettaglio, approvvigionamenti, costruzione/montaggio, avviamento e collaudo. Caratteristiche operative delle singole fasi, aspetti critici e approcci gestionali. I modelli di sviluppo del progetto basati su curve ad S.
- Il Project Management nelle società manifatturiere operanti per commessa.
- Project Start-up. Architettura di progetto. Preventivazione dei costi di progetto. Preparazione e gestione della proposta commerciale. Competitive bidding.
- Analisi e gestione dei rischi di progetto. Tipologia dei rischi di progetto. Metodologie di analisi qualitativa e quantitativa dei rischi di progetto. Approcci di tipo analitico e simulativo.
- La pianificazione del progetto e delle strutture permanenti. L'articolazione del progetto in voci di controllo. Regole di definizione della Work Breakdown Structure. La WBS nelle società di ingegneria e nelle società manifatturiere. Il piano generale di progetto ed i piani operativi di dettaglio. Le tecniche di programmazione reticolare (richiami ed approfondimenti). Le tecniche di schedulazione delle risorse. La gestione del progetto in ambiente multiprogetto.
- Il controllo del progetto. La misura dell'avanzamento ed il controllo integrato tempi/costi. Gli indicatori di prestazione del progetto. Analisi degli scostamenti ed analisi di trend. La stima a finire. La gestione delle varianti di progetto.
- La qualità gestionale del progetto. Il sistema qualità aziendale ed il piano di qualità del progetto.

- La valutazione delle prestazioni economico-finanziarie del progetto. Classificazioni dei costi di progetto. Il cash- flow di progetto. Controllo costi di progetto e controllo di gestione aziendale.
- Aspetti organizzativi del Project Management. Strutture temporanee e strutture permanenti. I ruoli organizzativi.
- Sistemi informativi per il Project Management. Criteri di valutazione e scelta.

#### *Esercitazioni*

Esercizi applicativi e sviluppo di casi didattici sugli argomenti del corso.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale preceduta da una prova scritta.

#### *Libri consigliati*

Dispense del corso. Letture e testi integrativi saranno segnalati durante lo svolgimento del corso.

Rossi: *Project Management: le tecniche di gestione dei progetti*, ISEDI, 1986.

Meredith-Mantel: *Project Management: a managerial approach*, John Wiley & Sons, 1989.

Cleland-King: *Project Management Handbook*, VanNostrand Reinhold, 1988.

## GESTIONE DELL\* INFORMAZIONE AZIENDALE

AQ0102

Prof. Piercarlo MAGGIOLINI

#### *Programma d'esame*

### I. SISTEMI INFORMATIVI E TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE NELLE ORGANIZZAZIONI ECONOMICHE.

1. Concetti di base
2. Il ruolo dell'informazione nelle organizzazioni economiche
3. Tipologie di sistemi informativi
4. Progettazione congiunta di sistemi informativi e organizzazione
5. Le Tecnologie dell'informazione nelle imprese e nel mercato

### II. ANALISI DEI BISOGNI INFORMATIVI DELL'AZIENDA.

1. Analisi delle risorse e processi aziendali
2. Analisi dei fattori Critici di Successo
3. Analisi delle varianze
4. Analisi delle transazioni economiche e organizzative

### III. LA PIANIFICAZIONE DELL'INFORMATICA AZIENDALE.

1. Problemi generali della pianificazione
2. Informatica e strategia dell'impresa
3. La pianificazione strategica dei sistemi informativi
- 4.1 sistemi informativi strategici

### IV. GESTIONE DELL'INFORMAZIONE AZIENDALE.

1. Logiche di progettazione
2. Le varie informatiche: aziendale, individuale, di gruppo
3. Accentramento/decentramento dei sistemi informativi
4. Modalità di acquisizione/sviluppo delle applicazioni e criteri di scelta

**V. GESTIONE DEI PROGETTI DI INFORMAZIONE.**

1. Gestione del rischio dei progetti di informazione: cause e rimedi al fallimento dei sistemi informativi.
2. Il ruolo e la partecipazione degli utenti
3. La gestione del cambiamento organizzativo

**VI. LA VALUTAZIONE ECONOMICA DELL\* INFORMATIZZAZIONE.**

1. Approcci alla valutazione economica dei sistemi informativi
2. Analisi dei benefici
3. Analisi dei costi
4. Analisi degli investimenti in informatica
5. Casi di analisi costi-benefici
6. Investimenti in Tecnologie dell'Informazione e performance aziendale

**VII. I FATTORI UMANI E SOCIALI.****VIII. L'AUTOMAZIONE DEL LAVORO D'UFFICIO E L'END USER COMPUTING.****IX. L'INFORMATICA A SUPPORTO DEL LAVORO DI GRUPPO: IL GROUPWARE.****X. LA TELEMATICA AZIENDALE.****XI. SISTEMI INFORMATIVI E QUALITÀ' TOTALE.****XII. L'INFORMATICA NELLE IMPRESE INDUSTRIALI E DI SERVIZI: CASI.****XIII. L'INFORMATICA NELLE AMMINISTRAZIONI PUBBLICHE: IL CASO DEI COMUNI.****XIV. VERSO UNA CITTA' DELL'INFORMAZIONE?**

Alcuni casi aziendali e fesemplificazione di alcune metodologie di pianificazione, progettazione e valutazione verranno trattati in esercitazioni, anche col contributo di persone esterne.

*Libri consigliati*

P.C. Maggiolini, *Costi e benefici di un sistema informativo*, ETAS Libri, Milano, 1981

G. Bracchi (a cura di): *Automazione del lavoro d'ufficio*, ETAS Libri, 1984.

Dispense a cura del docente

**GESTIONE DELL'INNOVAZIONE E DEI PROGETTI****000872****Prof. Adriano DE MAIO***Programma d'esame***1. L'evoluzione del contesto ambientale e la gestione dei processi di innovazione.**

L'ambiente esaminato sotto l'ottica del livello di turbolenza. L'importanza dell'innovazione a base tecnologica. I processi di innovazione nell'ottica di sistema. L'innovazione di processo e di prodotto. La gestione organizzativa dei processi di innovazione nelle imprese. Innovazione incrementale e innovazione radicale. L'apprendimento organizzativo come motore dei processi di innovazione. Il paradigma della *learning organisation*.

**2. L'innovazione radicale come progetto.**

Caratteristiche dei processi di innovazione radicale. L'adozione della logica di progetto. Configurazione di base di un progetto. Obiettivi e vincoli di un progetto. La gestione dei confini di un progetto. La committenza. Il processo di innovazione ad impulso come progetto complesso: peculiarità dei progetti di innovazione. Il progetto come sistema di processi decisionali interrelati. La struttura del progetto e il concetto di fase. La natura e gli effetti dei ricicli. L'architettura come principio generale: il problema dell'anticipazione dei vincoli.

**3. Il sistema di governo di un progetto.**

Gli obiettivi e i principali elementi del sistema di governo. Il piano del progetto: funzione, struttura e caratteristiche. Le leve di governo. Le principali logiche di governo di un progetto. L'articolazione del progetto e le possibili configurazioni delle attività. La *Work Breakdown Structure*. Le interdipendenze tra attività e il problema della parallelizzazione. Il processo di pianificazione e controllo. Il controllo del tempo. I metodi reticolari. Il controllo dei costi e della produttività. Le curve di *Earned Value*. Il controllo della qualità. Il monitoraggio e il sistema di reporting. L'utilizzo di pacchetti software di supporto alla pianificazione e controllo dei progetti.

**4. Le principali fasi e la struttura organizzativa del progetto.**

I principali problemi nelle diverse fasi di sviluppo del progetto: concezione, definizione, realizzazione e chiusura. L'organizzazione del progetto: ruoli e strutture. La struttura debole. La struttura forte. La struttura mista. I problemi delle organizzazioni a matrice.

**5. La gestione del portafoglio dei progetti di innovazione.**

Le interdipendenze tra i progetti e il problema del Multi-Project Management. Le principali leve. Le interdipendenze sulle risorse e il problema della priorità di accesso alle risorse. Le interdipendenze con i progetti futuri. Carry over e shelf innovation. La gestione del portafoglio e le prestazioni di lungo periodo: il ruolo delle competenze.

**6. Ambiti applicativi.**

- a) Il caso delle società di ingegneria.
- b) Lo sviluppo nuovi prodotti.
- c) Le innovazioni organizzative e la riprogettazione dei processi aziendali.

*Modalità d'esame*

L'esame prevede, oltre ad una prova orale individuale, la preparazione in gruppo di uno studio di caso presso un'azienda e la sua presentazione in aula.

*Libri consigliati*

- A. De Maio, A. Bellucci, M. Corso, e R. Verganti: *Gestire l'innovazione e innovare la gestione*, ETAS, Milano, 1994.
- J. R. Meredith, S.J. Mantel: *Project Management: a Managerial Approach*, John Wiley, New York, 1989.
- E. Bartezzaghi, G.L. Spina, R. Verganti: *Nuovi modelli di impresa e tecnologie di integrazione*, Capp. 4, 5, F. Angeli, Milano 1993.
- K. B. Clark, T. Fujimoto: *Product development performance - Strategy, organization and management in the world auto industry*, HBS Press, Boston 1991.

**GESTIONE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE**  
**Prof. Armando BRANDOLESE**

**AQ0008***Programma d'esame***La concezione del sistema produttivo:**

- tipologia dei sistemi produttivi e principali problemi di dimensionamento;
- le principali grandezze da misurare in relazione alla gestione del sistema produttivo: potenzialità produttiva, flessibilità, produttività, efficacia;
- le leve di controllo per la progettazione del sistema produttivo in relazione ai compiti critici.

**Il processo di industrializzazione:**

- le fasi, gli enti coinvolti, la scelta dei metodi; la fissazione dei tempi.

**Il processo di pianificazione, programmazione e controllo avanzamento della produzione:**

- la problematica in relazione alle principali tipologie produttive;
- piano principale di produzione;
- programmazione aggregata;
- gestione materiali a scorta e fabbisogno;
- lo scheduling per le diverse tipologie produttive.

**L'approccio logistico alla gestione della produzione:**

- politica di dislocazione delle scorte;
- il just-in-time nella gestione dei materiali dai fornitori ai clienti.

*Libri consigliati*

## Lezioni:

A. Brandolese, A. Pozzetti, A. Sianesi: *Gestione della produzione industriale*, Hoepli, 1991.

## Esercitazioni:

A. Grando, A. Sianesi: *Casi di Gestione della Produzione Industriale*, EGEA, 1990.

*Esercitazioni*

Verranno svolte alcune esercitazioni pratiche di formulazione e gestione di piani di produzione.

**GESTIONE E MANUTENZIONE DELLE INFRASTRUTTURE VIARIE****BN0009****Prof. Savino RINELLI***Programma d'esame*

**1. Nozioni generali** - Dal progetto all'appalto delle opere viarie. Legislazione e regolamenti per la conduzione dei lavori fino al collaudo finale. Il direttore del cantiere, il direttore dei lavori, il responsabile della gestione: compiti e procedure operative. Operazioni catastali e espropriati ve. Il nuovo codice della strada e la segnaletica.

**2. Approfondimento di aspetti economico-ambientali dei progetti** - Previsioni di traffico. Ottimizzazione e schematizzazioni delle reti. Modelli di valutazione. Analisi di fattibilità del progetto, confronto di tracciati alternativi. L'impatto ambientale nella progettazione: individuazione del tracciato e processo di minimizzazione, classificazione degli impatti, esempi di interventi di mitigazione. Normativa per le analisi benefici-costi e per la VIA.

**3. Opere in terra** - Il terreno e le sue caratteristiche generali. Classificazione delle terre: granulometria, limiti di consistenza, indice di plasticità, indice di gruppo. Compressibilità delle terre e costipamento: tecniche di compattazione, prove di portanza, controllo della densità in sito. Esecuzione degli scavi, formazione dei piani di posa dei rilevati e costruzione dei terrapieni stradali e ferroviari. Macchine per compattare. Organizzazione dei laboratori di cantiere.

**4. Soprastrutture viarie** - Materiali stradali: aggregati lapidei, leganti bituminosi e idraulici; requisiti di caratterizzazione e di accettazione degli inerti e dei leganti per gli usi stradali; principali prove sugli inerti, sui bitumi, sulle emulsioni bituminose e sui catrami. Soprastrutture stradali: pavimentazioni flessibili e semirigide (strati di fondazione e di base con terreno stabilizzato, in misto cementato e in misto bitumato; stabilizzazione con leganti idraulici; strati superficiali in conglomerato bituminoso; prove di laboratorio e in cantiere sui conglomerati bituminosi; metodi di calcolo; manti bituminosi di tipo speciale); pavimentazioni rigide: caratteristiche costruttive e metodo di

dimensionamento: giunti e rifinitura superficiale delle lastre in cls; piastre precomprese; applicazioni stradali sperimentali; sovrastrutture aeroportuali: calcolo delle pavimentazioni rigide e flessibili in zona critica e non critica; calcolo in base al numero LCN e PCN; sovrastrutture ferroviarie: armamento tradizionale e innovativo per linee ferroviarie, tranviarie e metropolitane. Verifiche statiche e dinamiche del binario.

**5. Macchine e impianti per la costruzione delle infrastrutture viarie** - L'organizzazione del cantiere viario. Macchine per i movimenti e il trasporto di terra. Impianti per la frantumazione e la vagliatura degli inerti. Impianti per la stabilizzazione delle terre. Impianti per la confezione dei conglomerati di cemento e bituminosi. Impianti di sollevamento. Macchine per la esecuzione delle pavimentazioni in conglomerato cementizio e bituminoso.

**6. Manutenzione stradale e aeroportuale** - Manutenzione ordinaria, straordinaria, pianificabile. Obiettivi della manutenzione programmata. Fasi della manutenzione. Tecniche di riparazione delle pavimentazioni flessibili e rigide. Modelli matematici di manutenzione programmata (HDM, PMS). Esempi di manutenzione programmata. Misura delle caratteristiche superficiali delle pavimentazioni. Impiego di tecnologie innovative per la valutazione delle pavimentazioni stradali. I controlli sulle piste di volo e interventi migliorativi.

**7. Manutenzione ferroviaria** - Manutenzione ordinaria e straordinaria delle linee ferroviarie ordinarie per alta velocità. Apparecchiature per il controllo del binario. Metodi automatici di rilevamento delle caratteristiche planaltimetriche dei tracciati. Tecniche di ripristino delle massicciate.

**8. Opere di protezione e impianti per la sicurezza della circolazione** - Barriere di sicurezza in calcestruzzo e in acciaio; parapetti per ponti, viadotti e muri: classificazione, riferimenti normativi ed elementi di progettazione; catalogo delle barriere. Barriere acustiche: tipologie di barriere anti-rumore, problemi di inserimento ambientale. Barriere paramassi: tipologie e criteri di progetto. Impianti per l'illuminazione delle strade e delle gallerie: scopi dell'illuminazione stradale all'aperto e in galleria, visibilità notturna su strada, apparecchi illuminanti e sorgenti luminose, manutenzione degli impianti. Segnaletica tradizionale e a messaggio variabile. La gestione in tempo reale di una rete viaria: sistemi di monitoraggio e di controllo.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nella redazione, con la guida dei docenti, del progetto esecutivo di un tratto stradale, che andrà consegnato - completo in ogni sua parte - almeno una settimana prima della data dell'esame, nonché nella esecuzione di una serie di prove pratiche di laboratorio.

#### *Libri consigliati*

G. Tesoriere: *Strade, ferrovie e aeroporti*, UTET - Torino, Volumi 2 e 3

C.N.R. - B. U. n. 125/1988: *Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale*

**GESTIONE INDUSTRIALE DELLA QUALITÀ\***

**AR0102**

**Prof. Quirico SEMERARO**

#### *Programma d'esame*

##### **1. Introduzione.**

Concetti e definizioni di qualità. Valore e costo della qualità. Qualità e produttività. Garanzia di qualità.

**2. Progettazione e sviluppo del prodotto.**

Definizione delle specifiche. Variabilità dei parametri di specifica e relazioni con i costi. La definizione ottimale delle specifiche. Applicazioni alla definizione della geometria del prodotto: le tolleranze dimensionali e di forma.

**3. Metodi per il controllo statistico del processo.**

Introduzione alle carte di controllo. Basi statistiche delle carte di controllo. Carte di controllo per caratteristiche esprimibili come variabili e come attributi. Carte CUSUM ed EWMA. Carte per produzioni di piccola serie. Scelta della numerosità e della frequenza del controllo campionario. Progetto economico delle carte di controllo.

**4. Metodi di miglioramento del processo.**

Analisi della capability del processo. ANOVA - Analisi della varianza. Pianificazione degli esperimenti. Piani fattoriali  $2^k$  e piani ridotti. Metodo Taguchi.

**5. Controllo di accettazione.**

Il problema dell'accettazione, piani di campionamento singolo, doppio, sequenziale. Le curve caratteristiche operative dei piani di campionamento. La scelta della numerosità del campione nel controllo di accettazione. Le norme per la definizione dei piani di campionamento. Piani di campionamento per variabili.

**6. Aspetti normativi del controllo qualità.**

Scopi della normazione. Vantaggi della normazione. La normazione e i suoi attori. Le norme riguardanti la qualità. Le ISO 9000. Principi della certificazione. I vantaggi della certificazione. I costi della certificazione. Il processo della certificazione. Quadro internazionale della certificazione.

*Esercitazioni*

Richiami di statistica: analisi dei dati, distribuzione di frequenza, misura della tendenza centrale, istogramma, regressioni e correlazioni, campione e popolazione, probabilità, intervallo di confidenza, test statistici.

Esercizi di supporto agli argomenti sviluppati nelle lezioni.

Strumenti di controllo delle caratteristiche dimensionali e di forma.

*Libri consigliati*

Dispense del corso

Douglas C. Montgomery: *Introduction to Statistical Quality Control* 2nd ed., John Wiley & Sons, 1991.

G. Mattana: *Qualità, Affidabilità, Certificazione*, Franco Angeli, 1992.

**GESTIONE URBANA**  
**Prof.ssa Giovanna FOSSA**

**000845**

*Programma d'esame*

**1 - Principi di diritto.** La costituzione e gli organi costituzionali. L'ordinamento giuridico. La normativa giuridica: fonti, interpretazioni e bibliografie.

**2 - Assetto del territorio.** L'ordinamento amministrativo del territorio e la legislazione territoriale urbanistica. Strumentazione urbanistica territoriale di pianificazione e programmazione. Normativa parametrica. Leggi per le zone di montagna. Norme speciali per zone particolari. Espropriazione per pubblica utilità. Normative della Regione Lombardia; altri esempi regionali.

fc

**3 - Tutela dei beni naturali.** Tutela urbanistica ambientale. Protezione della natura e del paesaggio. Tutela dei boschi e del verde forestale. Pianificazione e gestione dei parchi e delle riserve naturali. Normativa della Regione Lombardia; altri esempi regionali.

**4 - Tutela dei beni storico-culturali.** Norme di legge. La tutela dei "centri storici". Norme speciali per zone particolari. Normativa della Regione Lombardia; altri esempi regionali.

#### *Esercitazioni*

Lettura delle norme di attuazione di uno strumento urbanistico concordato col docente, e stesura di elaborato di critica e di eventuale proposta alternativa. Potranno pure essere svolti studi di altri casi applicati, pure concordati col discente.

#### *Modalità d'esame*

Per l'ammissione all'esame occorre la presentazione dell'elaborato svolto durante l'anno accademico almeno otto giorni prima dell'appello.

L'esame comprende un colloquio sul programma svolto e la discussione dell'elaborato.

#### *Libri consigliati*

Ad integrazione degli appunti presi a lezione e di eventuali dispense pubblicate nel corso dell'anno si consiglia la consultazione delle seguenti opere (nella versione dell'ultima edizione), disponibili anche presso la Biblioteca del Dipartimento di ingegneria per il recupero edilizio e territoriale:

D. Rodella, *Legge urbanistica e piani di ricostruzione*, Pirola, Milano.

Regione Lombardia, *Raccolta delle disposizioni regionali di interesse urbanistico*.

ISGEA, *Codice dell'ambiente* (2 vol.), Giuffrè, Milano.

## **IDENTIFICAZIONE DEI MODELLI E ANALISI DEI DATI**

**AG0208**

**Prof. Sergio DITTANTI**

#### *Programma d'esame*

##### **1. Dai dati al modello: problemi e metodi.**

Leggi e modelli nell'ingegneria e nelle scienze. Accuratezza dei modelli e loro complessità. Stima da osservazioni sperimentali. Modelli per la predizione, il controllo, la simulazione, la gestione e l'interpretazione. Tecniche trattamento dati.

##### **2. Modelli dinamici di processi stazionari, analisi spettrale e predizione.**

Modelli ingresso/uscita per serie temporali e relazioni causa/effetto (modelli a tempo continuo e a tempo discreto, modelli AR, MA, ARMA, ARX, ARMAX, ARIMAX). Modelli non lineari (Hammerstein, NARMA). Analisi di correlazione e analisi spettrale. Scomposizione di Wold. Teoria della predizione alla Kolmogorov-Wiener.

##### **3. Identificazione di modelli a parametri costanti.**

Problemi e tecniche di stima. Il problema dell'identificazione. Identificazione a partire da prove sperimentali semplici. Identificazione a Minimi Quadrati e a Massima Verosimiglianza. Identificazione di modelli AR, MA, ARMA, ARMAX. Identificazione ricorsiva (RLS, ELS, RML, LMS, ecc.). Scelta della complessità (AIC, MDL, ecc.). Equazioni di Yule-Walker e algoritmo di Durbin-Levinson. Stima dello spettro.

**4. Algoritmi adattativi di predizione e controllo.**

Predizione adattativa. Tecniche di controllo predittivo. Controllo a minima varianza e a minima varianza generalizzata. Controllo predittivo generalizzato. Controllo ad autosintonia. PID ad autosintonia. Assegnamento poli adattativo.

**5. Apprendimento**

Reti neurali, automi cellulari e logiche fuzzy per l'analisi dei dati, l'identificazione dei modelli e il controllo dei sistemi. Adattabilità e apprendimento.

**6. Filtraggio e predizione alla Kalman.**

Modelli stocastici di stato. Filtraggio, predizione e regolarizzazione. Filtro di Kalman. Filtro di regime. Rappresentazione di innovazione. Filtro di Kalman esteso. Impiego del filtro di Kalman nell'identificazione di modelli.

**7. Applicazioni.**

Controllo adattativo di impianti da laboratorio. Identificazione di modelli per l'automazione di veicoli e robot mobili. Identificazione di serie temporali econometriche, biologiche, naturali. Problemi di filtraggio e identificazione nei circuiti elettronici. Analisi di dati di impianti per la produzione di wafer di silicio. Simulazione stocastica.

**Esercitazioni al calcolatore.**

Sarà disponibile un package con cui gli allievi potranno familiarizzarsi con gli algoritmi di identificazione, predizione e filtraggio.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta, che verte su tutti gli argomenti trattati nel corso. Durante l'anno verranno proposte alcune prove scritte facoltative che, se svolte con esito favorevole, costituiranno elemento di giudizio per l'assegnazione del voto.

*Libri consigliati*

S. Bittanti: *Identificazione dei Modelli e Controllo Adattativo*, Pitagora Editrice, Bologna, 1992

S. Bittanti: *Teoria della Predizione e del Filtraggio*, Pitagora Editrice, Bologna, 1993

Per gli esercizi:

S. Bittanti, M. Campi: *Raccolta di Problemi di Identificazione, Filtraggio, Controllo predittivo*, Pitagora Editrice, Bologna 1995

**IDRAULICA****AU0002**

(per gli allievi di Ingegneria Ambientale e Civile (idr))

**Prof. Enrico ORSI***Programma d'esame*

**1.1 fluidi e il loro movimento.** - Definizione di fluido - **1** fluidi come sistemi continui - Grandezze della meccanica dei fluidi e unità di misura - Sforzi nei sistemi continui - Densità e peso specifico - Comprimibilità - Tensione superficiale - Viscosità - Fluidi non newtoniani - Assorbimento dei gas - Regimi movimento.

**2. Statica dei fluidi.** - Sforzi interni nei fluidi in quiete - Equazione indefinita della statica dei fluidi - Equazione globale dell'equilibrio statico - Statica dei fluidi pesanti incompressibili - Spinta sopra corpi immersi - Fluidi di piccolo peso specifico - Statica dei fluidi pesanti comprimibili - Equilibrio relativo - Galleggiamento.

- 3. Cinematica dei fluidi.** - Velocità e accelerazione - Elementi caratteristici del moto - Tipi di movimento - Equazione di continuità.
- 4. Equazioni fondamentali della dinamica dei fluidi.** - Equazione indefinita del movimento - Equazione globale dell'equilibrio dinamico.
- 5. Il teorema di Bernoulli.** - Distribuzione della pressione nel piano normale - Correnti lineari - Il teorema di Bernoulli - Interpretazione geometrica ed energetica - Applicazioni - Estensione del moto vario - Estensione ai fluidi reali - Potenza di una corrente in una sezione. Estensione del teorema di Bernoulli a una corrente - Scambio di energia fra una corrente e una macchina - Teorema di Bernoulli per fluidi comprimibili.
- 6. Equazione del moto dei fluidi reali.** - Le equazioni di Navier per i fluidi viscosi - Equazione globale di equilibrio - Azione di trascinamento di una corrente.
- 7. Correnti in pressione.** - Generalità sul moto uniforme - Moto laminare - Caratteristiche generali del moto turbolento; grandezze turbolente e valori medi - Sforzi tangenziali viscosi e turbolenti - Ricerche sul moto uniforme turbolento - Analisi dimensionale - Moto nei tubi scabri - Formule pratiche - Perdite di carico localizzate - Brusco allargamento - Perdite di sbocco, di imbocco, di brusco restringimento - Convergenti e divergenti - Altri tipi di perdite. Dispositivi di strozzamento - Calcolo idraulico di una condotta - Correnti in depressione.
- 8. Problemi pratici relativi alle lunghe condotte.** - Generalità - Verifica del funzionamento dei sistemi di condotte - Dimensionamento dei sistemi di condotte - Costo di una condotta - Costi di esercizio - Impianti di sollevamento - Condotte forzate degli impianti idroelettrici - Possibili traccati altimetrici.
- 9. Moto vario delle correnti in pressione.** - Generalità - Esempi pratici di moto vario - Moto vario di un liquido elastico in un condotto deformabile (colpo d'ariete). Equazioni differenziali del movimento - Manovre istantanee dell'otturatore - Celerità della perturbazione - Esame generale del processo di movimento - Sistemi di condotte - Oscillazioni di massa - Pozzi piezometrici - Casse d'aria.
- 10. Correnti a superficie libera.** - Caratteri generali - Moto uniforme - Caratteristiche energetiche in una sezione - Alvei a debole e forte pendenza - Caratteri cinematici delle correnti - Profili di moto permanente; tracciamento dei profili in alvei cilindrici - Passaggio attraverso lo stato critico - Passaggio di una corrente attraverso tronchi ristretti - Esempi applicativi.
- 11. Foronomia.** - Luci a battente e luci a stramazzo - Processi di moto vario.
- 12. Cenni sui moti di filtrazione.** - Legge di Darcy - Permeabilità - Falde artesiane e freatiche - Pozzi e trincee drenanti.
- 13. Cenni sulla teoria dello strato limite.** - Nozione di strato limite - Spessore dello strato limite - Strato limite lungo un ostacolo di forma qualunque: distacco dello strato limite e formazione della scia.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni, non obbligatorie ma vivamente consigliate, riguardano lo sviluppo di esercizi sulla materia svolta nelle lezioni.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale preceduta da una prova scritta: le due prove devono essere sostenute nel medesimo appello.

#### *Libri consigliati*

D. Citrini, G. Nosedà: *Idraulica* - Ed. CEA, Milano.

D. Zampaglione: *Strato limite: appunti dalle lezioni*, (per il capitolo 13).

G. Alfonsi, E. Orsi: *Problemi di idraulica e meccanica dei fluidi* - Ed. CEA, Milano

**IDRAULICA****AU0002**

(per gli allievi di Ingegneria Edile e Civile, (escluso idr))

**Prof. Enrico LARCAN***Programma d'esame*

**I. 1 fluidi e il loro movimento.** - Definizione di fluido - **1** fluidi come sistemi continui - Grandezze della meccanica dei fluidi e unità di misura - Sforzi nei sistemi continui - Densità e peso specifico - Comprimibilità - Tensione superficiale - Viscosità - Fluidi non newtoniani - Assorbimento dei gas - Regimi movimento.

**2. Statica dei fluidi.** - Sforzi interni nei fluidi in quiete - Equazione indefinita della statica dei fluidi - Equazione globale dell'equilibrio statico - Statica dei fluidi pesanti incompressibili - Spinta sopra corpi immersi - Fluidi di piccolo peso specifico - Statica dei fluidi pesanti comprimibili - Equilibrio relativo - Galleggiamento.

**3. Cinematica dei fluidi.** - Velocità e accelerazione - Elementi caratteristici del moto - Tipi di movimento - Equazione di continuità.

**4. Equazioni fondamentali della dinamica dei fluidi.** - Equazione indefinita del movimento - Equazione globale dell'equilibrio dinamico.

**5. Il teorema di Bernoulli.** - Distribuzione della pressione nel piano normale - Correnti lineari - Il teorema di Bernoulli - Interpretazione geometrica ed energetica - Applicazioni - Estensione al moto vario - Estensione ai fluidi reali - Potenza di una corrente in una sezione. Estensione del teorema di Bernoulli a una corrente - Scambio di energia fra una corrente e una macchina - Teorema di Bernoulli per fluidi comprimibili.

**6. Equazione del moto dei fluidi reali.** - Le equazioni di Navier per i fluidi viscosi - Equazione globale di equilibrio - Azione di trascinamento di una corrente.

**7. Correnti in pressione.** - Generalità sul moto uniforme - Moto laminare - Lubrificazione - Caratteristiche generali del moto turbolento; grandezze turbolente e valori medi - Sforzi tangenziali viscosi e turbolenti - Ricerche sul moto uniforme turbolento - Analisi dimensionale - Moto nei tubi scabri - Formule pratiche - Perdite di carico localizzate - Brusco allargamento - Perdite di sbocco, di imbocco, di brusco restringimento - Convergenti e divergenti - Altri tipi di perdite. Dispositivi di strozzamento - Calcolo idraulico di una condotta - Correnti in depressione.

**8. Problemi pratici relativi alle lunghe condotte.** - Generalità - Verifica del funzionamento dei sistemi di condotte - Dimensionamento dei sistemi di condotte - Costo di una condotta - Costi di esercizio - Impianti di sollevamento - Condotte forzate degli impianti idroelettrici - Possibili traccati altimetrici.

**9. Moto vario delle correnti in pressione.** - Generalità - Esempi pratici di moto vario - Moto vario di un liquido elastico in un condotto deformabile (colpo d'ariete). Equazioni differenziali del movimento - Manovre istantanee dell'otturatore - Celerità della perturbazione - Esame generale del processo di movimento - Sistemi di condotte - Oscillazioni di massa - Pozzi piezometrici - Casse d'aria.

**10. Correnti a superficie libera.** - Caratteri generali - Moto uniforme - Caratteristiche energetiche in una sezione - Alvei a debole e forte pendenza - Caratteri cinematici delle correnti - Profili di moto permanente; tracciamento dei profili in alvei cilindrici - Passaggio attraverso lo stato critico - Passaggio di una corrente attraverso tronchi ristretti - Esempi applicativi.

**II. Foronomia.** - Luci a battente e luci a stramazzo - Processi di moto vario.

**12. Cenni sui moti di filtrazione.** - Legge di Darcy - Permeabilità - Falde artesiane e freatiche - Pozzi e trincee drenanti.

**13. Cenni sulla teoria dello strato limite.** - Nozione di strato limite - Spessore dello strato limite - Strato limite lungo un ostacolo di forma qualunque: distacco dello strato limite e formazione della scia.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni, non obbligatorie ma vivamente consigliate, riguardano lo sviluppo di esercizi sulla materia svolta nelle lezioni.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale preceduta da una prova scritta: le due prove devono essere sostenute nel medesimo appello.

#### *Libri consigliati*

**D. Citrini, G. Nosedà:** *Idraulica* - Ed. CEA, Milano.

**D. Zampagliene:** *Strato limite: appunti dalle lezioni*, (per il capitolo 13).

**G. Alfonsi, E. Orsi:** *Problemi di idraulica e meccanica dei fluidi* - Ed. CEA, Milano.

## **IDRAULICA**

(per gli allievi di Ingegneria Elettrica)

**Prof. Enrico ORSI**

**AU0004**

#### *Programma d'esame*

### **PARTE GENERALE.**

- 1. I fluidi e il loro movimento.** - Definizione di fluido - Grandezze della meccanica dei fluidi e unità di misura - Sforzi nei sistemi continui - Regimi di movimento.
- 2. Statica dei fluidi.** - Sforzi interni nei fluidi in quiete - Equazione indefinita della statica dei fluidi - Equazione globale dell'equilibrio statico - Statica dei fluidi pesanti incompressibili.
- 3. Cinematica dei fluidi.** - Velocità e accelerazione - Elementi caratteristici del moto - Tipi di movimento - Equazione di continuità.
- 4. Equazioni fondamentali** della dinamica dei fluidi. - Equazione indefinita del movimento - Equazione globale dell'equilibrio dinamico.
- 5. II teorema di Bernoulli.** - Distribuzione della pressione nel piano normale - Correnti lineari - Il teorema di Bernoulli - Interpretazione geometrica ed energetica - Applicazioni - Estensione al moto vario - Estensione ai fluidi reali - Potenza di una corrente in una sezione - Estensione del teorema di Bernoulli a una corrente - Scambio di energia fra una corrente e una macchina.
- 6. Correnti in pressione.** - Generalità sul moto uniforme - Moto laminare - Caratteristiche generali del moto turbolento - Moto nei tubi scabbi - Formule pratiche - Perdite di carico localizzate - Calcolo idraulico di una condotta - Problemi pratici relativi alle lunghe condotte - Dimensionamento e verifica dei sistemi di condotte - Criteri economici.
- 7. Moto vario delle correnti in pressione.** - Generalità - Esempi pratici di moto vario - Moto vario di un liquido elastico in un condotto deformabile (colpo d'ariete) - Manovre istantanee dell'otturatore - Celerità della perturbazione - Esame generale del processo di movimento - Oscillazioni di massa - Pozzi piezometrici - Casse d'aria.
- 8. Correnti a superficie libera.** - Caratteri generali - Moto uniforme - Caratteristiche energetiche in una sezione - Alvei a debole e forte pendenza - Caratteri cinematici delle correnti - Profili di

moto permanente; tracciamento dei profili in alvei cilindrici - Passaggio attraverso lo stato critico - Esempi applicativi - Moto vario nelle correnti a superficie libera.

**9. Elementi di idrometria.** - Luci a battente e a stramazzo - Misure di portata e velocità nelle correnti in pressione e a superficie libera.

#### **IMPIANTI.**

**10. Tipologia degli impianti idroelettrici** e relativi manufatti caratteristici. Nomenclatura specifica.

**11. Tipologia degli sbarramenti** e Regolamento Dighe.

**12. Il servizio Idrografico Italiano.** Reperimento dei dati idrologici ed elaborazioni di base.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni riguardano applicazioni sulla materia svolta nelle lezioni e argomenti complementari che rientrano nel programma d'esame.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

#### *Libri consigliati*

D. Citrini, G. Nosedà: *Idraulica* - Ed. CEA, Milano.

G. Alfonsi, E. Orsi: *Problemi di idraulica e meccanica dei fluidi* - Ed. CEA, Milano.

Appunti delle lezioni.

## **IDRAULICA II**

**AI0005**

**Prof. Silvio FRANZETTI**

#### *Programma d'esame*

**1. Correnti in pressione.** - Richiami dei problemi di moto uniforme - Sistemi di condotte: problemi di verifica e problemi di progetto (cenni) - Condotte a portata variabile.

**2. Correnti a superficie libera.** - Richiami sul moto uniforme e sui profili di moto permanente per alvei cilindrici - Tracciamento pratico dei profili - Correnti permanenti con portata costante in alvei non cilindrici - Correnti permanenti con portata variabile - Fenomeni ondosi - Onde di traslazione - Onde di piena - Cenni di idraulica fluviale: trasporto solido, erosioni, sistemazioni.

**3. Similitudine e modelli.** - Legge di similitudine di Reynolds - Legge di similitudine di Froude - Altre leggi di similitudine - Modelli fisici analogici e matematici (cenni).

**4. Idraulica sotterranea.** Il mezzo poroso: proprietà e scale di osservazione - Acquifero confinato e non confinato - Approccio del continuo - Porosità e velocità di filtrazione - Proprietà geometriche e meccaniche della matrice solida - Proprietà fisiche del fluido interstiziale - Introduzione alle teorie stocastiche nello studio della filtrazione in mezzi porosi naturali - REV e scale di eterogeneità - Scala integrale di un processo random - Media spaziale - Microscala e scala del REV - Conduttività idraulica e Legge di Darcy - L'equazione di continuità - Il carico idraulico - Permeabilità direzionale: ellissoide di anisotropia - Potenziale della velocità di filtrazione: moti irrotazionali e rotazionali - Anisotropia: il tensore di permeabilità - Generalizzazioni della legge di Darcy - Misure di permeabilità - Equazioni deterministiche del flusso - Equazione di diffusione per falda non confinata - L'ipotesi di Dupuit - Immagazzinamento o Storativity - Flusso 2D in acquifero confinato - Condizioni iniziali ed al contorno - Posizione di un modello matematico completo di filtrazione - Filtrazione in formazioni naturali con un approccio stocastico - Logconduttività e funzione di Covarianza - Analisi di dati di campo di conduttività - Problema diretto alla scala locale - Con-

duttività Idraulica Equivalente: Flusso uniforme stazionario - Analisi stocastica per il caso 1D e 3D - L'equazione media deterministica del flusso - Linee di corrente e funzione di corrente - Serie di Fourier e Trasformate (cenni) - Filtrazione in pressione in presenza di opere idrauliche - Portate - Criteri di stabilità - Pozzi artesiani - Tipologia - Sistemi a più pozzi - Problemi progettuali - Transitori - Filtrazione a superficie libera - Dighe in terra - Argini fluviali - Canali in terra - Pozzi freatici - Tipologia - Sistemi a più pozzi - Problemi progettuali - Abbassamenti di falda nella pratica costruttiva - Drenaggi - Transitori - Metodi approssimati di soluzione - Modelli in scala ridotta - Metodi elettrici - Hele Shaw - Metodi grafici: rete idrodinamica - Metodi numerici: differenze finite ed elementi finiti - L'uso dell'elaboratore elettronico - Flusso dell'acqua in mezzi non saturi - Generalità - Capacità di infiltrazione - Suzione ed umidità - Loro misure - Equazione di Darcy modificata - Cenni di infiltrazione - Bilancio idrologico di una falda - Trasporto di soluti in mezzi porosi.

5. **Strato limite e resistenze di forma.** Cenni.

#### *Esercitazioni*

Studi di fattibilità. Progetti elementari ed esempi numerici. Il tutto forma oggetto d'esame.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

#### *Libri consigliati*

D. Citrini G. Nosedà: *Idraulica* Ed. CEA, Milano.

G. Nosedà: *Correnti permanenti a portata variabile lungo il percorso*, Ed. Istituto di Idraulica e Costr. Idrauliche.

G. Nosedà: *Problemi di moto vario*, Ed. Istituto di Idraulica e Costr. Idrauliche.

G. De Marchi: *Nozioni di Idraulica*, Ed. Edagricole, Milano.

G. Schneebeli: *Hydraulique souterraine*, Ed. Eyrolles, Paris.

J.L. Sherard et al.: *Earth and Earth Rock Dams*, John Wiley and Sons.

Aravin, Numerov: *Theory of Fluid Flow in Undeformable Porous Media*, Israel Progr for Scientific Transl., Jerusalem.

F. Contessini: *Dighe e traverse*, Editrice Politecnica Tamburini, Milano

G. de Marsily: *Quantitative Hydrogeology*, Academic Press Inc.

## **IDRAULICA MARITTIMA**

**000842**

(per gli allievi di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio e Ingegneria Civile)

**Prof. Giuseppe PASSONI**

#### *Programma d'esame*

##### **1. Idrodinamica marina e costiera:**

Nozioni di oceanografia. Mari e oceani; morfologia del fondo marino; caratteristiche fisiche dell'acqua di mare; livello marino; correnti oceaniche e modelli di circolazione; moti ondulatori delle masse idriche; misura ed analisi delle onde gravitazionali; le oscillazioni di marea; regime dei venti e dei mari; ricostruzione e previsione delle onde di vento; modelli di propagazione ondosa (teorie irrotazionali e rotazionali); rifrazione, diffrazione, riflessione e frangimelo delle onde; sovravento di tempesta, sesse e tsunamis.

**2. Interazione tra idrodinamica e sedimenti costieri:**

Morfologia delle coste, cuspidi, tomboli e flèches; dune costiere; caratteristiche granulometriche dei sedimenti costieri; fonde di fondo; interazione tra idrodinamica (onda-corrente) e fondale; trasporto solido; correnti costiere; dinamica trasversale e longitudinale delle spiagge; profilo di equilibrio; modelli di evoluzione trasversale del profilo di spiaggia; modelli di evoluzione longitudinale della linea di costa.

Interazione tra idrodinamica e opere di difesa dei litorali: difese passive (opere aderenti, rivestimenti, paratie, muri di sponda), difese attive rigide (pennelli trasversali, barriere distaccate longitudinali emergenti e sommerse), difese attive morbide (ripascimenti artificiali puri e con opere di contenimento, sistemi di bypass delle sabbie).

**3. Interazione tra moto ondoso e strutture portuali**

Planimetrie portuali fondamentali. Azioni delle onde su opere continue: dighe a parete verticale e a gettata, cassoni galleggianti. Oscillazioni di livello nei bacini portuali. Moto ondoso indotto da nautanti. Modelli per la valutazione della qualità dell'acqua; progettazione "ambientale" dei porti turistici.

**4. Interazione tra idrodinamica e opere speciali**

Piattaforme "offshore" per la ricerca, l'estrazione e l'immagazzinamento degli idrocarburi. Interazione tra moto ondoso, strutture e navi all'ormeggio. Moto ondoso su pali isolati e non. Dinamica dei corpi galleggianti. Idrovie, conche di navigazione.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni (tre ore/settimana) consistono in esercizi applicativi anche con risvolto progettuale. Esse saranno integrate da proiezione di audiovisivi e con visite a modelli fisici e a realizzazioni a scala di prototipo.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale sul programma svolto nel corso delle lezioni e delle esercitazioni

*Libri consigliati*

Appunti e dispense distribuiti nel corso delle lezioni

A. Noli, Costruzioni Marittime-Parte I: *Oceanografia Applicata*, QI, Ed. La Goliardica, Roma, 1979.

U.S.Army CERC: *Shore Protection Manual*, Washington, 1984, vol. I, II.

Delft University, *Coastal Engineering*, 1986, vol. 1, 2, 3.

A.M. Muir Wood, C.A. Fleming, *Coastal Hydraulics*, The Macmillan Press Ltd, London, 1981.

J.F.A. Sleath, *Sea Bed Mechanics*, John Wiley & Sons, New York, 1984.

L.Franco, R.Marconi, *Porti Turistici: guida alla progettazione e costruzione*, Maggioli Editore, 1995.

**IDROLOGIA****000885****Prof. Ugo MAIONE***Programma d'esame*

**1. Nozioni di idrologia generale:** definizioni; origine e sviluppo dell'idrologia; le metodologie d'approccio; il ciclo idrologico.

**2. La metodologia statistica applicata alle indagini idrologiche.** Rappresentazioni delle serie empiriche - Definizioni ed assiomi del calcolo delle probabilità - Distribuzioni probabilistiche

(distribuzione normale; log-normale; binominale; Gumbel, etc.) - Teorema limite centrale; distribuzione del  $\chi^2$ - Frequenze empiriche e probabilità - Tests di controllo delle ipotesi statistiche - Formulazione e verifica dell'ipotesi di lavoro - Correlazione e regressione - Distribuzioni empiriche di due variabili - Relazioni stocastiche tra due variabili casuali - Interpretazioni di serie empiriche a due variabili - Problemi di correlazione e distribuzione normale a due dimensioni - Distribuzioni marginali e condizionate - Coefficiente di correlazione - Serie temporali - Modelli stocastici. Idrologia sintetica.

**3. Bacini idrografici.** Caratteristiche topografiche, geologiche, glaciologiche e termiche - Evaporazione, traspirazione, evapotraspirazione, infiltrazione - Deficit idrologico - Regimi pluviometrici - Studio del regime dei corsi d'acqua naturali - Bilancio idrologico - Modelli dei deflussi mensili e modelli di trasferimento - Piogge di breve durata e forte intensità - Magre dei corsi d'acqua.

**4. Le piene fluviali.** Genesi, cause ed effetti delle piene - Caratteristiche dell'idrogramma di piena: portata al colmo, volume e durata - Studio statistico delle portate di piena di colmo - Metodi deterministici e stocastici per il calcolo delle onde di piena - Idrogramma unitario - Propagazione delle piene nei corsi d'acqua.

**5. Cenni di gestione delle risorse idriche.**

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni (obbligatorie) riguarderanno l'elaborazione di serie idrologiche e la costruzione di modelli matematici di deflussi superficiali.

#### *Libri consigliati*

U. Maione, U. Moisello: *Elementi di statistica per l'idrologia*, ed. La Goliardica Pavese, 1993.

U. Maione: *Appunti di Idrologia*, Voi. 3, Le piene fluviali, Ed. La Goliardica Pavese, 1980.

Ven Te Chow: *Handbook of Applied Hydrology*, Mc Graw-Hill Book Company.

G. Remenieras: *L'idrologie de l'ingénieur*, Eyrolles Editeur, Paris 1965.

M. Roche: *Hydrologie de surface*, Gauthier-Villars Editeur, Paris 1963.

Durante le lezioni verranno distribuiti appunti.

## **IDROLOGIA SOTTERRANEA + IDROLOGIA II (c.i.)**

000839

**Proff. Renzo ROSSO, Maria Giovanna TANDA**

#### *Programma d'esame*

**A. Teoria stocastica dei processi idrologici.** (Parte comune ai due insegnamenti).

- 1) Definizioni.
- 2) Significato teorico e tecnico delle ipotesi di ergodicità, stazionarietà e ciclostazionarietà.
- 3) Analisi del secondo ordine e tecniche di stima.
- 4) Criteri di formulazione dei modelli a parametro continuo e discreto, aggregazione e disaggregazione.
- 5) Modelli lineari a parametro discreto.
- 6) Modelli lineari a parametro continuo.
- 7) Modelli geostatistici.
- 8) Applicazione della teoria dei processi puntuali ai fenomeni intermittenti.
- 9) Identificazione della scala di Taylor e fenomeni di invarianza di scala.
- 10) Cenni sulle cascate aleatorie. (12 ore).

**B. Reti di monitoraggio idrometeorologico.** (Parte comune ai due insegnamenti).

- 1) Misure idrometeorologiche e sensori.
- 2) Reti di interesse regionale, nazionale ed internazionale.
- 3) Configurazione ottimale delle reti (meteoclimatiche, pluviometriche, nivometriche, idrometriche, torbidometriche, frèatimetriche).
- 4) Monitoraggio radar delle precipitazioni.
- 5) Monitoraggio satellitare delle precipitazioni e della nivometria.
- 6) Integrazione delle misure multisensore.
- 7) Campagne di misura. (8 ore).

**C. Modelli dei campi di precipitazione.** (*Parte relativa all'insegnamento di Idrologia Tecnica II*).

- 1) Richiami di idrometeorologia della mesoscala.
- 2) Modelli temporali di tipo poissoniano e cluster (schemi di Neyman-Scott e Bartlett-Lewis).
- 3) Interpolazione spaziale per via geostatistica.
- 4) Cenno ai modelli spaziali mono- e multi-frattali ed ai modelli spazio-temporali. (10 ore).

**D. Modelli delle acque sotterranee.** (*Parte relativa all'insegnamento di Idrologia Sotterranea*).

- 1) Richiami sull'idraulica dei mezzi porosi.
- 2) Caratterizzazione delle proprietà degli acquiferi.
- 3) Metodi numerici di soluzione delle equazioni (metodo euleriano e lagrangiano, tecniche alle differenze finite e agli elementi finiti).
- 4) Scelta delle scale spaziali e temporali e delle condizioni al contorno.
- 5) Interazione tra falda e rete idrografica (16 ore).

**E. Modelli di diffusione e dispersione degli inquinanti in falda.** (*Parte relativa all'insegnamento di Idrologia Sotterranea*).

- 1) Richiami sui processi di reazione precipitazione/dissoluzione, di assorbimento, di trasformazione microbiologica, di diffusione molecolare e di dispersione meccanica.
- 2) Equazioni fondamentali di trasporto.
- 3) Soluzioni analitiche e numeriche.
- 4) Applicazione agli acquiferi con eterogeneità naturale.
- 5) Teorie stocastiche del trasporto degli inquinanti in campi eterogenei.
- 6) Inquinamento da sorgenti puntuali e diffuse.
- 7) Individuazione della sorgente di inquinante. (16 ore).

**F. Tecniche di analisi e restituzione spaziale.** (*Parte relativa all'insegnamento di Idrologia Sotterranea*).

- 1) Variabilità spaziale dei processi idrologici ed effetti topografici.
- 2) Sistemi informativi territoriali (GIS) orientati allo sviluppo di strumenti di analisi e sintesi idrologica.
- 3) Esempi di realizzazioni. (8 ore).

*Libri consigliati*

- J. Bear: *Dynamics of fluids in porous media*, American Elsevier, New York, 1972.  
 J. Bear, A. Verruijt: *Modeling groundwater flow and pollution*, D. Reidei, Dordrecht, 1987.  
 N. Kottegoda: *Stochastic Water Resources Technology*, MacMillan, London, 1980.  
 G. de Marsily: *Quantitative Hydrogeology, Groundwater Hydrology for Engineers*, Academic Press, New York, 1986.  
 R. Rosso, A. Peano, I. Becchi & G. Bemporad: *Advances in Distributed Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins, 1994.  
 E. Vanmarcke: *Random Fields: Analysis and Synthesis*, MIT Press, Cambridge, 1984.

**IMPIANTI AERONAUTICI**  
**Prof. Luigi PUCCINELLI****AL0107***Programma d'esame***1. Generalità sullo sviluppo del progetto di un impianto di bordo.**

Specifiche generali, progetto di massima e definizione dello schema, dimensionamento dei componenti, emissione delle specifiche relative, scelta dei componenti, verifiche di funzionamento. Affidabilità, sicurezza, manutenibilità; analisi delle conseguenze dei guasti e verifica in condizioni emergenza; norme e collaudi.

**2. Impianti per la conversione e distribuzione di energia.**

2.1 Analisi dei carichi e determinazione delle potenze necessarie.

2.2 Impianti oleodinamici: principi di funzionamento, generazione della potenza, utilizzatori, distribuzione, regolazione, accessori, schemi tipici.

2.3 Impianti elettrici: requisiti generali, impianti a corrente continua ed alternata, generazione, utilizzatori, distribuzione, regolazione, accessori, schemi tipici.

2.4 Impianti pneumatici: requisiti generali, generazione, utilizzatori, distribuzione, regolazione, accessori, schemi tipici.

**3. Installazioni tipiche.**

3.1 Organi di decollo ed atterraggio: configurazione generale, pneumatici, ruote, freni, ammortizzatori, dispositivi e cinematismi per la retrazione.

3.2 Comandi di volo: trasmissioni meccaniche, servopotenziate, sistemi fly-by-wire.

3.3 Impianto combustibile: cenni sui combustibili, esigenze e caratteristiche dell'alimentazione, accessori vari, schemi tipici.

3.4 Impianti di respirazione, condizionamento dell'aria e pressurizzazione: condizioni di vita dell'uomo in quota, impianti ossigeno, requisiti generali per il condizionamento e pressurizzazione, impianti di condizionamento, regolazione della pressurizzazione, schemi tipici.

3.5 Installazione antighiaccio: condizioni di formazione del ghiaccio, sistemi di prevenzione, sistemi di eliminazione, schemi tipici.

3.6 Installazione antincendio: zone di pericolo e di incendio, mezzi preventivi, mezzi repressivi, agenti e schemi tipici.

3.7 Dispositivi di sicurezza e di emergenza: predisposizioni generali di sicurezza, seggiolini eiettabili, cabine sganciabili.

4. **Strumenti di bordo:** strumenti manometrici, strumenti di misura della temperatura, strumenti a gravità o ad inerzia, strumenti giroscopici, bussole, strumenti di controllo dei motori, ripetitori elettrici di posizione.

5. **Avionica:** calcolatori di bordo, strumentazione per le comunicazioni, strumentazione per la navigazione, radar, strumentazioni integrate.

*Esercitazioni*

Nelle esercitazioni gli allievi avranno la possibilità di sviluppare vari aspetti del progetto di impianti di bordo e di loro componenti.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta e in una prova orale; sono esentati dalla prova scritta coloro che consegneranno le esercitazioni o svilupperanno un progettino autonomo.

*Libri consigliati*

P.D.T. O'Connor: *Practical reliability engineering*, J. Wiley.

W.L. Green: *Aircraft hydraulic systems*, J. Wiley.

H. E. Merrit: *Hydraulic control systems*, J. Wiley.

E.H.I. Pallet: *Aircraft electrical systems*, Pitman.

N.S. Currey: *Aircraft landing gear design*.

E. H.I. Pallet: *Aircraft instruments*, Pitman.

F. Francescotti: *Avionica - I sistemi elettronici dei velivoli*, Aviolibri.

**IMPIANTI CHIMICI****AF0032****Prof. Giuseppe RIARDI***Programma d'esame*

**1) Le operazioni fondamentali:** Funzioni, scopi e azioni elementari delle operazioni fondamentali. Azioni fluidodinamiche, azioni di scambio di materia e di calore, trasformazioni chimiche. Modalità di contatto tra fasi, azioni di scambio attraverso superficie, azioni di scambio per miscelazione. Operazioni con sole azioni meccaniche e fluidodinamiche: miscelazione e dispersione di fasi, modificazione di dimensioni di solidi, separazioni di fasi. Ricomposizione delle azioni elementari, operazioni a stadi e ad azione continua. Tipologia degli apparati e configurazione degli impianti.

**2) L'equilibrio fra fasi:** Regola delle fasi per sistemi ad uno, due e molti componenti. Caratterizzazione dello stato termodinamico di una fase fluida, equazioni di stato per composti puri e per miscele, in particolare equazioni di stato RKS e del viriale. Miscele ideali e non ideali, calcolo dei coefficienti di fugacità, calcolo dei coefficienti di attività. Equilibrio liquido-vapore e liquido-gas. Leggi di Raoult e di Henry. Equilibrio liquido-liquido. Equilibrio liquido-solido. Equilibrio gas-solido. Diagrammi di equilibrio per sistemi binari e ternari; metodi di costruzione, problemi di calcolo.

**3) Le operazioni ad azione intermittente:** Concetto di stadio e di stadio ideale. Stadi semplici e stadi multipli a flusso incrociato e in controcorrente. Stadi multipli in controcorrente con riflusso. Efficienza di uno stadio. Operazioni di assorbimento e di strappamento semplici. Cascate lineari e risoluzione analitica delle cascate lineari. Cascate non lineari, risoluzione analitica e numerica. Calcolo della portata minima, del numero di stadi teorici e del numero di stadi reali ad efficienza assegnata. Unità di assorbimento e strappamento a molti componenti, gradi di libertà, problemi di progetto e di simulazione di esercizio.

Metodi di calcolo short-cut e metodi rigorosi per il progetto termodinamico. Operazione di distillazione e rettifica; sistemi binari, nozione di volatilità relativa, costruzione della retta di lavoro col criterio di McCabe e Thiele; calcolo del rapporto di riflusso minimo e del numero di stadi teorici minimo. Unità di distillazione e rettifica con più di una alimentazione e/o con prelievi laterali, unità di distillazione e rettifica a molti componenti, nozione di componenti chiave, progetto termodinamico con metodi short-cut: Smith-Brinkley e Fenske-Underwood-Gilliland.

Metodi rigorosi per il progetto termodinamico e per la verifica di unità di distillazione e rettifica a molti componenti; i casi della distillazione estrattiva ed azeotropica. Operazione di estrazione con solvente, con e senza riflusso, estrazione frazionata. Criteri di progetto termodinamico per l'estrazione liquido-liquido e liquido-solido.

- 4) Capacità ed efficienza delle unità di contattamento tra fasi:** Tipologia degli apparati, colonne a piatti, a riempimento, a gorgogliamento, a pioggia, unità mixer-settler ecc. Criteri per il progetto fluidodinamico delle unità e degli stadi. Criteri per il calcolo dell'entità del trasferimento di materia, di calore e quantità di moto fra le fasi. Problemi costruttivi delle colonne a piatti ed elementi per il progetto meccanico-strutturale.
- 5) Operazioni di miscelazione:** Generalità e scopi dell'operazione di miscelazione, classificazione dei processi di miscelazione in base allo stato di aggregazione. Analisi dei meccanismi della miscelazione e criteri di progetto e di verifica degli apparati.
- 6) Le operazioni ad azione continua:** Operazioni di trasferimento di materia ad azione continua; assorbimento, strappamento, distillazione e rettifica. Progetto termodinamico e fluidodinamico, altezza dell'unità di trasporto e numero di unità di trasporto, diametro e altezza di unità a corpi di riempimento. Operazioni di scambio termico: funzioni e tipologia degli apparati: scambiatori di calore sensibile, condensatori, ribollitori, evaporatori e forni. Meccanismi di trasporto e criteri di valutazione dei coefficienti di scambio liminari e globali. Progetto termico e fluidodinamico di unità di scambio di calore, elementi per il progetto meccanico strutturale.
- 7) Le operazioni discontinue:** Criteri di studio e di calcolo per unità di scambio termico e per unità di distillazione e rettifica discontinua. Campi di impiego.
- 8) Automazione e regolazione:** Computo dei gradi di libertà di una unità di processo, obiettivi e criteri per la saturazione di tali gradi di libertà. Elementi di misura, trasduttori, amplificatori e regolatori. Costruzione di uno schema di regolazione e controllo. Regolazione in anteazione e in retroazione. Cenni sull'analisi e sulla sintesi di un sistema con anelli semplici e concatenati. Schemi di regolazione impiegati per unità tipiche dei processi chimici.
- 9) Elementi di cost engineering:** Calcoli economici associati a unità di processo; costi di investimento, costi di esercizio, loro confronto su base temporale. Funzioni di costo; problemi di ottimo in sede di progetto e in sede di conduzione.

#### *Esercitazioni*

Durante l'anno vengono svolte esercitazioni di calcolo a illustrazione degli argomenti e dei problemi trattati nel corso. Di esse verrà dato di volta in volta il testo scritto. Gli argomenti trattati durante le esercitazioni costituiscono programma di esame. Saranno proposte, altresì, delle esercitazioni scritte agli allievi la cui risoluzione, con esito positivo, potrà esonerare dalla prova scritta di esame.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta, avente come oggetto un problema del tipo di quelli trattati durante le Esercitazioni, integrata da un colloquio orale (vedi anche sotto Esercitazioni).

#### *Libri consigliati*

G. Biardi: *Operazioni unitarie di impianti chimici*, Voi. 1, Città Studi (1993).

L. Pellegrini: *Eserciziario di impianti chimici*, Città Studi (1995).

è consigliata la consultazione dei testi sottocitati, disponibili presso la Biblioteca del Dipartimento di Chimica Industriale ed Ingegneria Chimica.

A. Foust et al.: *Principles of unit operations*, 2<sup>nd</sup> Ed., J. Wiley (1980)

R. Treybal: *Mass transfer operations*, 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw Hill (1980)

E.J. Henley J.D. Seader: *Equilibrium-Stage Separation Operations in Chemical Engineering*, J. Wiley (1981)

P. Thibaut Brian: *Staged cascades in Chemical processing*, Prentice-Hall (1972)

D. Q. Kern: *Process Heat Transfer*, McGraw Hill (1950)

M.S. Peters, K. Timmerhaus: *Plant design and economics for Chemical engineers*, 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw Hill (1980)

P. Harriot: *Process control*, McGraw Hill (1964).

G. Stephanopoulos: *Chemical Process Control: an Introduction to Theory and Practice*, Prentice Hall (1984).

## **IMPIANTI CHIMICI (B)**

**AF0011****Prof. Armando MORPURGO**

### *Programma d'esame*

#### **Considerazioni preliminari.**

Bilanci materiali, energetici, di quantità di moto. Analisi exergetica. Efficienze. Costo del prodotto. Alternative di investimento. Ottimizzazione di progetto, di esercizio. Servoazione, controllo, autoregolazione, stabilità energetica. Schemi di controllo.

#### **Elementi per la progettazione di impianti.**

Lay-out di stabilimento. Servizi centralizzati.

Configurazioni degli impianti.

Operazioni fondamentali.

Unificazioni e normative tecniche.

Descrizione di principio e selezione di apparecchiature.

#### **Elementi per la progettazione di apparecchiature.**

Progettazione termodinamica, fluidodinamica, meccanica.

Generazione e modificazione delle proprietà di fase gassosa, liquida, solida.

Miscelazione, dispersione, convogliamento, contatto, separazione di fasi.

Azioni elementari. Meccanismi di trasporto. Trasformazioni chimiche.

Coefficienti di scambio liminari e globali.

Apparecchiature a stadi, a contatto continuo.

Operazioni a flusso incrociato, equicorrente, controcorrente, con riflusso.

Altezza e numero delle unità di trasporto.

Efficienza termodinamica locale, di stadio, di apparecchiatura.

Dimensionamento, costruzione, collaudo.

#### **Operazioni fondamentali (discontinue, cicliche, continue).**

Scambio termico con/senza cambiamento di fase; con/senza reazione chimica.

Adsorbimento, deadsorbimento, iperadsorbimento, assorbimento, deassorbimento, assorbimento frazionato, estrazione liquido-liquido, estrazione liquido-solido, estrazione con due solventi, estrazione frazionata, distillazione semplice, distillazione frazionata, rettifica binaria, rettifica azeotropica, rettifica estrattiva, rettifica multicomponenti.

### *Esercitazioni*

Le lezioni teoriche saranno completate da esemplificazioni e intervallate da esercitazioni numeriche.

*Modalità d'esame*

La valutazione viene effettuata sulla base di prove scritte proposte durante il semestre, e completate da un colloquio orale.

*Libri consigliati*

Saranno fornite dispense da fotocopiare, integrate da materiale vario, distribuito durante le lezioni.

**IMPIANTI CHIMICI II****AF0012****Prof. Sauro PIERUCCI***Programma d'esame***Umidificatore e deumidificatore dei gas.**

Definizioni. La temperatura del termometro a bulbo umido. La temperatura di saturazione adiabatica. La relazione di Lewis. Diagramma T-U. Diagramma H-x e le regole per la previsione del senso di evoluzione dei sistemi in contro ed equicorrente. Diagramma H-T e dimensionamento degli apparati.

**Essiccamento dei solidi.**

Solidi igroscopici e non igroscopici. Andamento del fenomeno di essiccamento e sua velocità. Descrizione dei tipi costruttivi principali e criteri per la loro scelta.

**Concentrazione delle soluzioni.**

Riscaldamento diretto ed indiretto. Evaporazione sotto vuoto. T ebullioscopio. Salto termico ed utile. Evaporazione a multiplo effetto ed a termocompressione. Tipi costruttivi e criteri per la loro scelta.

**Cristallizzazione.**

Diagramma T-C e scelta del procedimento. Sovrasaturazione. Tipi costruttivi.

**Separazione dei solidi dai fluidi.**

Perdita di carico nel deflusso attraverso aggregati di solidi, loro porosità. Legame concettuale fra filtrazione, fluidificazione, trasporto pneumatico, decantazione, flooding nelle torri a riempimento. Filtrazione, decantazione e centrifugazione: cenni teorici e descrizione dei tipi costruttivi. Filtrazione dei gas: separatore a ciclone.

**Miscelazione dei fluidi.**

Tipi di moto da realizzare per miscelare fluidi o sospendere i solidi nei fluidi. Tipi costruttivi e criteri di scelta. Correlazioni sulla potenza dissipata.

**Trasporto dei fluidi.**

Pn e DN - Classi di tubi. Tipi di flange unificate. Organi di regolazione ed intercettazione. Macchine per la compressione dei fluidi comprimibili ed incomprimibili: criteri di scelta.

**Regolazione automatica delle variabili operative.**

Misure di portata, temperatura, pressione, livello. La catena di regolazione. I vari modi di operare dei controllori automatici. Valvole di regolazione per controllo automatico. Esempio di regolazione di un apparato complesso.

**Materiali ferrosi più usati nella costruzione di apparati.**

Acciai al C: proprietà meccaniche desiderabili, trattamenti termici, saldabilità, classificazione UNI, fragilità a freddo, acciai colmati.

Influenza del Ni sul diagramma Fe-C.

Acciai per basse temperature.  
Influenza del Cr sul diagramma Fe-C.  
Acciai resistenti alla corrosione. Influenza del Mo sulle caratteristiche meccaniche a caldo.  
Acciai al Cr-Ni, e derivati.  
Precipitazione dei carburi e stabilizzazione.

*Libri consigliati*

Dispense del corso.

Brown: *Unit Operation*. Ed. Wiley.

**IMPIANTI DI ELABORAZIONE (A)**

**AG0252**

**Prof. Giuseppe SERAZZI**

*Programma d'esame*

Viene descritta l'architettura dei sistemi di elaborazione prendendone in considerazione i principali componenti funzionali. Si studia la loro evoluzione dalla struttura di Von Neumann ai sistemi paralleli. Per ogni componente viene analizzata la motivazione che ha portato alla sua attuale struttura e viene effettuato uno studio modellistico per valutare l'impatto sulle prestazioni.

Nel corso vengono descritti i concetti di base e le tecniche per realizzare modelli a reti di code di impianti di elaborazione e di reti locali e geografiche. Verranno effettuati studi di dimensionamento, tuning e capacity planning di sistemi informatici.

*Contenuto del Corso*

**PARTE I**

**1. Architettura di un sistema (cap. 1).**

- Componenti fondamentali; Struttura di Von Neumann; Evoluzione tecnologica

**2. Il Ruolo delle Prestazioni (cap. 2).**

- Indici di prestazione (CPI, MIPS,...); Misurazioni; Relazioni tra le varie metriche

**3. Il Processore (cap.5).**

- Implementazione (5.1); Esecuzione istruzione e flusso dei dati (5.2); Algoritmi di schedulazione

**4. Incremento delle prestazioni con il pipelining (cap. 6).**

- Stages nell'esecuzione delle istruzioni (6.1, 6.2); Controllo della pipeline (6.3)

**5. Gerarchie di Memorie (cap. 7).**

- Cache; Memoria Virtuale; Gestione dei miss; Algoritmi di allocazione; Prestazioni

**6. Interfaccia tra Processori e Periferiche (cap. 8).**

- Metriche per I/O; Caratteristiche delle Apparecchiature di I/O; Tipi di bus

- Interfacce tra I/O, memoria, processore e sistemi operativi, dischi RAID.

**7. Sistemi paralleli (cap. 9).**

- Sistemi SIMD e MIMD; Tipi di architetture MIMD; Evoluzione delle architetture.

**8. Reti di Sistemi.**

- Il modello ISO/OSI; Topologie; Reti locali; I protocolli (Ethernet, Internet Protocol Suite)

- I servizi di rete

**9. Architetture client/server**

- Componenti hardware e software; Topologie; Valutazione delle prestazioni.

**PARTE II****10. Cenni di teoria della probabilità.**

- Variabili casuali (geometrica, esponenziale, normale, Erlang-K, iperesponenziali)
- Il processo di Poisson; Processi di nascita e morte; Stazioni con coda; M/M/1; M/M/1/k.

**11.1 modelli a reti di code.**

- Centri di servizio, Tecniche di analisi, Caratterizzazione del carico, Analisi di sensitività.

**12. Le Leggi fondamentali.**

- Utilizzo, Little, Flusso forzato, Bilanciamento del flusso,...

**13.1 parametri di ingresso e di uscita.**

- Descrizione dei job e dei centri di servizio: Richieste di servizio
- Utilizzo; Tempo di residenza; throughput; Lunghezza della coda

**14. Analisi dei valori limite (bounds).**

- Limiti asintotici; Identificazione dei bottleneck; Balanced job bound (BJB)

**15.1 modelli a classe singola.**

- Tecniche risolutive, Modelli aperti e chiusi, MVA esatto e approssimato

**16.1 modelli multiclasse.**

- Tecniche risolutive; Modelli aperti, chiusi e misti; MVA esatto e approssimato

**17. Un simulatore di modelli a reti di code.**

- Organizzazione delle code; Scheduling; Tipi di stazioni; Tempi di servizio; Routing; Priorità

**18. Case studies.**

- Modelli di: Sistemi time-sharing; LAN (Ethernet); WAN; Architetture client/server; Database; Internet

*Esercitazioni*

Verranno applicate praticamente le tecniche di analisi delle prestazioni e di dimensionamento dei sistemi utilizzando un simulatore disponibile presso il Centro di Calcolo del Politecnico.

*Libri di testo*

- D. A. Patterson, J.L. Hennessy: *Computer Organization & Design: The Hardware/Software Interface*, Morgan Kaufmann, 1994. (per la PARTE I)  
 E. D. Lazowska, J. Zahorjan, G.S. Graham, K. Sevcik: *Quantitative System Performance*, Prentice Hall, 1984. (per la PARTE II)  
 Dispense distribuite in corso d'anno.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di:

- verifica del livello di conoscenza delle nozioni relative al programma sopra descritto;
- risoluzione di problemi di valutazione delle prestazioni e dimensionamento di impianti informatici.

**IMPIANTI DI ELABORAZIONE (C)**

**AG0239**

**Prof.ssa Letizia TANCA**

*Programma d'esame***1. Architettura degli impianti di elaborazione.**

Architettura di base: set di istruzione pipeline; gerarchia di memoria; valutazione delle prestazioni.

## **2. Richiami di Sistemi Operativi.**

Funzioni e struttura a strati di un Sistema Operativo; concetto di processo; gestione dei processi; elaborazione concorrente: primitive di sincronizzazione in ambiente globale e in ambiente distribuito (semafori, monitor, scambio di messaggi); gestione della memoria; gestione dell'Unità Centrale; gestione degli archivi; gestione delle periferiche.

## **3. Ingegneria del software.**

Il ciclo di vita del software; fattori di qualità del software, problemi, errori nella stima; raccolta dei requisiti; specifica dei requisiti; progettazione in grande e progettazione in piccolo; verifica dei programmi: tecniche "black box" e tecniche "white box"; costruzione dei dati per il testing dei programmi; modularità nel software; gestione dei progetti.

## **4. Progetto di Sistemi Informativi.**

Introduzione alla progettazione dei Sistemi Informativi: progetto dei processi e progetto dei dati; metodologie di progetto: primitive e strategie di progettazione; analisi strutturata dei sistemi; progetto concettuale di basi di dati: il modello Entità-Relazioni; progettazione congiunta di dati e processi; cenni alla progettazione logica della base di dati; i sistemi di interrogazione delle basi di dati; nuove tendenze dei sistemi e delle tecniche di progettazione.

## **5. Reti di calcolatori.**

Modello di riferimento ISO-OSI; mezzi e tecniche di trasmissione: supporti fisici, modulazione di segnali, condivisione di canali di comunicazione, tecniche di commutazione; protocolli, tecniche di routing, controllo delle congestioni; le reti geografiche; le reti locali: caratteristiche e protocolli principali; criteri di scelta dei sistemi di elaborazione nei diversi contesti applicativi; metodi di analisi delle prestazioni.

### *Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni di integrazione degli argomenti trattati nel corso, in particolare sulle metodologie di analisi dei sistemi informativi.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta sull'analisi dei sistemi informativi e in una prova orale.

### *Libri consigliati*

- 1: D.A. Patterson, H.J. Hennessy: *Computer Organization & Design*, Morgan Kaufmann, 1994.
- 2: F. Tisato, R. Zicari: *Sistemi Operativi: Architettura e Progetto*, CLUP, 1985.
- 3: C. Ghezzi et al.: *Ingegneria del software*, Mondadori Informatica, Milano, 1991.
- 4: a) C. Batini, S. Ceri., S. Navathe: *Conceptual Database Design: an Entity-Relationship approach*, Benjamin Cummings, 1991.  
b) C. Francalanci, F.A. Schreiber, L. Tanca: *Progetto di Dati e Funzioni*, Progetto Leonardo, Bologna 1993.  
c) R. Elmasri, S. Navathe: *Fundamentals of Database Systems*, 2nd ed., Benjamin Cummings, 1994.  
d) E. Yourdon: *Analisi Strutturata dei Sistemi*, ed. Jackson, Milano, 1990.
- 5: A.S. Tanenbaum: *Computer Networks*, Prentice Hall, 1988.

**IMPIANTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA**  
**Prof. Paolo MARANNINO****AH0112***Programma d'esame*

**1) La penetrazione dell'energia elettrica nel mondo.** Breve storia dello sviluppo dei sistemi elettrici in Italia e nel mondo. I vantaggi e i limiti delle grandi interconnessioni. Elementi di economia nella produzione dell'energia elettrica. Fonti primarie; fabbisogni di energia elettrica, bilanci energetici. Diagrammi di carico tipici, loro copertura; costi di produzione e tarifficazione.

**2) Centrali idroelettriche.** Nozioni di idrologia. Tipi principali ed elementi costitutivi. Macchinario elettrico e schemi tipici. Impianti idroelettrici ad alta caduta. Determinazioni della funzione di trasferimento potenza meccanica-apertura del distributore di ammissione dell'acqua in turbina. Modelli per liquido incomprimibile e per liquido comprimibile. Tempo di avviamento della condotta, periodo del colpo di ariete, coefficiente di Allievi. Frequenze di risonanza e antirisonanza. Poli della funzione di trasferimento. Influenza del valore del coefficiente di Allievi sulla risposta nel dominio del tempo ad una perturbazione a gradino.

**3) Centrali termoelettriche.** Combustibili. Centrali tradizionali a vapore: elementi costitutivi e relativi modelli, macchinario elettrico e schemi tipici. Centrali con turbine a contropressione per produzione combinata di energia elettrica e vapore. Centrali geotermiche. Centrali nucleotermoelettriche. Centrali con turbine gas e a cicli combinati, o con gruppi Diesel, Cenni di teoria dell'affidabilità, progettazione affidabilistica di impianto.

**4) Regolazione della frequenza.** Regolazione di un gruppo generatore; regolatori di velocità. Regolazione della frequenza in rete; ripartizione del carico tra i vari gruppi e tra i vari sistemi interconnessi. Sintesi del regolatore di velocità di un gruppo idroelettrico. I vantaggi dell'interconnessione. La regolazione secondaria di frequenza. La regolazione frequenza-potenza nei sistemi interconnessi. I criteri di non intergenza di Darrieus e Quazza. Condizioni necessarie per la regolazione con errore nullo di frequenza e potenza di scambio. Criterio di minima partecipazione. Criterio di mutua assistenza fra le reti.

**5) Regolazione della tensione.** Regolazione primaria delle tensioni dei generatori sincroni. Regolazione di tensione con compound di reattivo. Principali sistemi di eccitazione: dinamo rotante, alternatore ausiliario a diodi rotanti, ponte di Graetz a tiristori. La stabilità della regolazione di tensione. Regolatori di tensione per sistemi con eccitatrici rotanti e con eccitatrici statiche. Curve di prestazione (capability) dei generatori sincroni. La regolazione secondaria della tensione e della potenza reattiva. Scelta dei nodi pilota e dei generatori regolanti. La regolazione terziaria di tensione. Coordinamento fra regolazione terziaria di tensione dispacciamento a breve e brevissimo termine delle generazioni di potenza reattiva.

**6) L'ottimizzazione dell'esercizio del sistema elettrico di produzione e trasmissione.** Il problema della definizione del parco di generazione in servizio (Unit Commitment settimanale e/o giornaliero). Liste di priorità, programmazione dinamica ed algoritmi di programmazione matematica a numeri misti. Sistemi a generazione mista idro-termoelettrica. Programmazione giornaliera delle generazioni di potenza attiva. Modelli di ottimizzazione e metodi di soluzione. Metodi di disaccoppiamento del problema idrico e termico. Metodi che usano la teoria delle reti di flusso. Ottimizzazione della generazione delle aste idrauliche. Ottimizzazione delle generazioni termoelettriche con vincoli di trasporto fra aree. La teoria della dualità per l'accoppiamento dei problemi. Dispacciamento ottimo delle potenze generate. Sistemi monosbarra. Dispacciamento a eguali costi incrementali (con perdite costanti o  $X$  dispatch) o a eguali costi incrementali corretti con fattori di penalità delle perdite ( $P$  dispatch). Calcolo dei coefficienti  $p$  e della matrice hessiana delle perdite. Problema di Optimal Power Flow. Dispacciamento delle potenze attive e reattive. Modelli sparsi e modelli compatti e ridotti. Dispacciamento delle potenze attive con vincoli di sicurezza. Gli stati operativi di un

sistema elettrico. Analisi della sicurezza e calcolo dei coefficienti di riporto di corrente. Il dispacciamento a brevissimo termine. Dispacciamento dinamico con vincoli integrali (consumi di combustibile ed emissione di sostanze inquinanti). Il dispacciamento in linea. Fattori di partecipazione per FEconomic Dispatch.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni saranno prevalentemente tenute da professionisti e dirigenti dell'ENEL (nell'ambito di una convenzione tra ENEL e Politecnico), che porteranno il contributo dell'industria elettrica alla presentazione di temi applicativi di loro diretta competenza.

#### *Libri consigliati*

Zanchi: Centrali elettriche, Tamburini, Milano

Elgerd: *Electric Energy Systems Theory- An Introduction*, MC Graw Hill- New York

Marin, Vaitorta: *Trasmissione e Interconnessione*, CEDAM, Padova.

Wood, Wollenberg: *Power Generation, Operation and Control*, J. Wiley, New York.

Marconato: *Sistemi Elettrici di Potenza*, Clup, Milano

Debs: *Modern Power Systems Control and Operation*, Kluwer Accademie Publishers, London.

*E' consigliata anche la consultazione di articoli di riviste nazionali ed internazionali indicati all'occorrenza dal docente.*

## **IMPIANTI DI TRATTAMENTO DEGLI EFFLUENTI GASSOSI**

**AI0006****Prof. Michele GIUGLIANO**

#### *Programma d'esame*

##### **1. Problemi d'inquinamento atmosferico.**

Scala spaziale e temporale dei fenomeni di alterazione della qualità dell'aria. Alterazioni acute su piccola scala in aree urbane ed industriali. Alterazioni su grande scala nella bassa ed alta atmosfera. Il problema della CO<sub>2</sub>, del metano, dell'ozono e dell'acidità delle precipitazioni. Meccanismi generali di produzione, trasformazione e rimozione di sostanze nell'atmosfera.

##### **2. Valutazioni delle grandi fonti di inquinamento.**

Generalità sulla combustione. Meccanismi di formazione di inquinanti per combustione incompleta, per reazioni secondarie e per impurezze dei combustibili. Le emissioni da processi di combustione fissa: utenze civili e industriali, centrali termoelettriche, inceneritori di rifiuti e combustibili derivati. Le emissioni da processi di combustione mobile: tipo e regime di utilizzo del motore, emissioni allo scarico ed emissioni per evaporazioni. Le emissioni da processi industriali: chimica e petrolchimica, siderurgia, materiali da costruzione ed altri processi industriali. Fattori e modelli di calcolo delle emissioni.

##### **3. Il trasporto, la diffusione, trasformazione e la rimozione degli inquinanti.**

Caratteristiche termiche e dinamiche dello strato limite planetario. Elementi di meteorologia e climatologia. Modelli d'innalzamento dei pennacchi. Modello gaussiano per la distribuzione degli inquinanti emessi da sorgenti puntuali, lineari ed areali. Versione climatologica e per atmosfere non omogenee del modello gaussiano. Cenni ad altri tipi di modelli.

##### **4. Tecniche di controllo delle emissioni inquinanti.**

Generalità dei sistemi di prevenzione e controllo. Granulometria del particolato ed efficienza dei depolveratori. Fondamenti della captazione del particolato. Depolveratori meccanici. Filtri elettrostatici. Filtri a manica. Depolveratori ad umido. Sistemi di assorbimento ad umido, secco e semi-

secco delle emissioni gassose. Sistemi di adsorbimento. Conversione termica e catalitica. Sistemi combinati. Confronto fra sistemi e cenni ai costi di impianto e di esercizio.

### 5. Problemi di gestione della qualità deU'aria.

Sistemi informativi. Inventario delle emissioni. Reti di rilevamento. Criteri per gli standards di emissioni e di qualità dell'aria. Filosofia degli interventi. Cenni alla normativa nazionale e internazionale.

#### Esercitazioni

Le esercitazioni si svolgono in aule informatizzate con l'utilizzo di software appositamente messo a punto per il Corso. Si valutano con modelli di calcolo le emissioni da grandi fonti di inquinamento, l'efficienza di controllo richiesta dalle normative, l'approccio al dimensionamento degli impianti di depurazione e la distribuzione degli inquinanti nell'area.

#### Libri consigliati

- Dispense e materiale distribuito durante il corso.

J. H. Seinfeld: *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. John Wiley and Sons, 1986.

A. C. Stem, R. W Bonbel, D.F. Fox : *Fondamentals of Air Pollution* (II Ed.) Academic Press, 1984

A.G. Buonicore, W.T. Davis (edits): *Air Pollution Engineering Manual*, Van Nostrand Reinhold, New York (USA), 1992.

R.C. Flagan, J.H. Seinfeld: *Fundamentals of Air Pollution Engineering*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New York (USA), 1988.

## IMPIANTI DI TRATTAMENTO DEGLI EFFLUENTI INQUINANTI

AEOI01

Prof. Falco SINISCALCO

#### Programma d'esame

0. Importanza del contenimento dell'impatto ambientale prodotto dallo svolgimento delle diverse attività economiche.

1. Concetti generali.

1.1. Principi di ecologia. Ecologia speciale. Caratteristiche dell'ambiente ed indicatori ambientali. Alterazioni delle caratteristiche dell'ambiente provocate da un impatto. Rischi di danni alla salute pubblica.

1.2. Cenni sulle metodologie di rilevamento dello stato dell'ambiente.

1.3. Elementi di normativa comunitaria, nazionale e regionale.

2. Interventi per il contenimento dell'impatto ambientale. Principi di ingegneria ambientale.

2.1. Genesi delle perturbazioni ambientali.

2.2. Provvedimenti disponibili per ridurre l'entità di un impatto.

2.3. Operazioni elementari dell'ingegneria ambientale.

2.4. Metodologie utilizzabili per ottimizzare l'immissione nell'ambiente dei fattori di impatto.

2.5. Principali sistemi di bonifica ambientale.

2.6. Cenni sui rischi ambientali.

3. L'inquinamento degli ambienti interni.

3.1. Classificazione dei principali inquinanti ambientali (chimici e fisici).

3.2. Limiti di riferimento per la salvaguardia delle condizioni lavorative.

3.3. Metodi di valutazione dei dati ambientali.

3.4. Identificazione delle sorgenti inquinanti.

- 3.5. Provvedimenti per il contenimento degli inquinanti.
- 3.6. Relazione tra ambiente interno ed ambiente esterno.
4. L'inquinamento dell'atmosfera.
- 4.1. Classificazione dei principali inquinanti atmosferici.
- 4.2. Elementi per la valutazione dell'esposizione agli inquinanti dei cittadini e degli addetti alle lavorazioni ed alle altre attività economiche.
- 4.3. Impianti di trattamento degli effluenti aeriformi in sistemi polifasici.
- 4.4. Impianti di trattamento degli effluenti aeriformi in fase omogenea.
- 4.5. Valutazione della dispersione degli inquinanti da fonti concentrate e da fonti diffuse.
5. L'inquinamento dell'idrosfera.
- 5.1. Classificazione dei principali inquinanti idrici.
- 5.2. Problemi igienico-sanitari.
- 5.3. Impianti di trattamento degli effluenti idrici in sistemi polifasici.
- 5.4. Impianti di trattamento degli effluenti idrici in fase omogenea.
- 5.5. Impianti tipici di depurazione delle acque.
- 5.6. Valutazione della dispersione degli inquinanti idrici.
6. L'inquinamento del suolo.
- 6.1. Classificazione dei principali inquinanti del suolo.
- 6.2. Problemi igienico-sanitari.
- 6.3. Impianti di trattamento dei rifiuti.
- 6.4. Strutture di confinamento dei rifiuti.
7. Altre forme di inquinamento.
8. Principali problemi che si incontrano nella realizzazione degli interventi di disinquinamento.
9. Trattazione dei concetti esposti nel Corso su una o più tipologie lavorative scelte di anno in anno.

#### *Esercitazioni*

Sono previste alcune visite di studio presso impianti ed industrie.

#### *Libri consigliati*

Nel corso delle lezioni verranno segnalati libri e riviste che possono essere consultati nella biblioteca del Dipartimento.

## **IMPIANTI DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI APPROVVIGIONAMENTO AI0007 Prof. Costantino NURIZZO**

#### *Programma d'esame*

**Le acque di approvvigionamento** (richiami e complementi) - Definizione di acque di approvvigionamento - Fonti di approvvigionamento idrico (convenzionali e non) - Caratteri delle acque naturali: caratteri fisici, organolettici, chimici e biologici, analisi delle acque. Requisiti delle acque per uso potabile, per usi industriali, per usi agricoli - Fabbisogni e stato dell'approvvigionamento idrico in Italia. Aspetti normativi.

#### **Finalità dei trattamenti delle acque di approvvigionamento.**

**Le operazioni fondamentali dei trattamenti delle acque di approvvigionamento** - Accumulo. Grigliatura, staccatura. Dosaggio ed aggiunta di reattivi. Miscelazione. Coagulazione - floccula-

zione. Sedimentazione. Filtrazione: rapida (a gravità ed in pressione) e lenta. Aerazione. Adsorbimento. Metodi a membrana. Scambio ionico. Evaporazione. Precipitazione.

**Principali trattamenti delle acque di approvvigionamento** - Generalità. Rimozione del colore e della torbidità. Disinfezione: disinfezione a mezzo di agenti chimici e fisici. Controllo dei caratteri organolettici. Rimozione del ferro e del manganese. Rimozione dell'idrogeno solforato. Addolcimento chimico. Neutralizzazione. Demineralizzazione. Dissalazione. Condizionamento e trattamento dell'acqua di alimentazione dei generatori di vapore. Trattamento delle acque per piscine. Rimozione di composti dell'azoto. Controllo e rimozione dei microinquinanti.

**Prodotti residuati dei trattamenti delle acque di approvvigionamento** - Caratteristiche e trattamento dei fanghi.

**Il recupero ed il riciclo delle acque usate.**

**L'ingegneria degli impianti di trattamento delle acque di approvvigionamento** - Scelta del ciclo di trattamento. Criteri di progettazione e di esercizio. Valutazioni economiche.

#### *Esercitazioni*

L'insegnamento prevede una serie di esercitazioni numeriche e grafiche relative ai calcoli di progetto delle principali fasi di trattamento. Sono inoltre previste: visite tecniche, conferenze, seminari.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale che si svolgerà sulla base del programma di insegnamento e delle esercitazioni svolte.

#### *Libri consigliati*

Dispense;

Al Layla et al.: *Water Supply Engineering Design*,

Barnes et al.: *Water and Wastewater Engineering System*,

Barnes, Wilson: *Chemistry and Unit Operations in Water Treatment*,

Montgomery: *Water Treatment - Principles and Design*,

Popel: *Lehrbuch für Abwassertechnik und Gewässerschutz*,

Desjardin: *Le traitement des eaux*.

## **IMPIANTI DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI RIFIUTO**

**AI0008**

**Prof. Luca BONOMO**

#### *Programma d'esame*

**1. Caratteristiche delle acque di rifiuto.** Volume e portata degli scarichi; modalità di misura e di campionamento. Caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche delle acque di rifiuto domestiche ed industriali.

**2. Fenomeni di inquinamento delle acque.** Richiami e complementi.

**3. Trattamenti di depurazione.** Generalità sui trattamenti. Grigliatura, triturazione e stacciatura. Omogeneizzazione. Dissabbiatura: dissabbiatori a canale, dissabbiatori aerati, altri tipi di dissabbiatori. Disoleatura e flottazione. Sedimentazione: teoria dei processi di sedimentazione e criteri di dimensionamento dei sedimentatori; sedimentazione di massa. Processi biologici aerobici; teoria dei processi biologici aerobici; criteri di scelta tra i diversi processi. Trattamenti a fanghi attivi; processi convenzionali; aerazione prolungata ed impiego dell'ossigeno puro. Processi a biomassa fissa: richiami teorici, modelli di penetrazione; letti percolatori a debole ed a forte carico; dischi

biologici; biofiltri sommersi; letti fluidizzati; relativi criteri di dimensionamento. Stagni biologici e fitodepurazione. Problemi particolari per lo scarico in bacini a debole ricambio. Nitrificazione e denitrificazione. Trattamenti di terzo stadio per la rimozione del fosforo. Scarico a mare (cenni). Impianti per piccole comunità e case isolate. Vasche Imhoff. Principali operazioni unitarie di natura chimica. Neutralizzazione, precipitazione, ossi-riduzione, coagulazione e flocculazione.

**4. Trattamenti dei fanghi.** Stabilizzazione aerobica. Digestione anaerobica; teoria dei processi biologici anaerobici; digestori ad uno stadio ed a due stadi; dimensionamento dei digestori. Ispessimento. Disidratazione dei fanghi; letti di essiccamento; metodi di disidratazione artificiale; centrifughe, filtri a vuoto, filtri pressa; criteri di scelta. Smaltimento finale dei fanghi.

**5. Reflui delle principali industrie.** Limitazione dei consumi idrici. Razionalizzazione delle reti di fognatura. Interventi sui cicli e recuperi di sottoprodotti (cenni). Industria alimentare, cartaria, tessile, conciaria, petrolifera, meccanica. Effetti della presenza di scarichi industriali nelle pubbliche fognature. Condizioni di accettabilità in fognatura.

**6. Costi di impianto e di esercizio e cenni di legislazione.**

#### *Esercitazioni*

Nell'ambito delle esercitazioni sarà svolto un esempio numerico di dimensionamento di un impianto di depurazione meccanico-biologico per reflui urbani. Inoltre gli allievi dell'indirizzo Ambientale e de 11'orientamento Sanitario, suddivisi in piccoli gruppi, approfondiranno un tema specifico sulla depurazione di reflui urbani o industriali.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale sulla base del programma di insegnamento, compreso l'esempio numerico di dimensionamento svolto ad esercitazione. Sarà inoltre discusso il tema di approfondimento eventualmente sviluppato.

#### *Libri consigliati*

Saranno distribuite delle dispense. Sui temi non coperti dalle dispense e per l'approfondimento di argomenti particolari, si suggerisce la consultazione dei testi seguenti:

L. Bonomo (a cura di): *Stabilizzazione, disidratazione e smaltimento dei fanghi di depurazione*. Numero speciale della rivista *Ingegneria Ambientale*, n. 3 del 1981.

L. Bonomo (a cura di): *Recenti tendenze nella depurazione delle acque reflue: Innovazioni tecnologiche e di processo*. 44<sup>A</sup> Corso di Aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale, Politecnico di Milano, 1996.

L. Masotti: *Depurazione delle Acque*, Ed. Calderini, Bologna, 1987

Metcalf e Eddy: *Wastewater Engineering*, Ed. Me Graw-Hill, New York, 1991.

## **IMPIANTI ELETTRICI**

**Prof. Enrico TIRONI**

**AH0113**

#### *Programma d'esame*

##### **1. Generalità.**

Lavoro elettrico, sua generazione e trasporto. Tipi di centrale. Interconnessione. Prospettive sull'utilizzazione di c.c. per il trasporto e la grande distribuzione.

**2. Generazione.**

N. ore di utilizzazione della potenza e perdite. Costi di produzione. Analisi dei diagrammi e prospettive di un loro miglioramento. Potenza ed energia ricavabili da una centrale. Rendimenti. Elementi che contribuiscono a determinare la tarifficazione. Scelte riguardanti il macchinario elettrico di centrale: N. di gruppi, velocità, potenza, zona di possibile utilizzazione, rapporto di corto circuito, tensione, caratteristiche meccaniche; considerazioni sulla stabilità. Oscillazione del rotore in gruppi diesel-elettrici; variazioni di velocità alla chiusura progressiva della turbina. Eccitazione: tensione nominale, tensione limite, velocità di risposta, potenza; sistemi rotanti e statici, brushless, con convertitori semplici e doppi. Servizi ausiliari e loro alimentazione. Gestione centralizzata degli impianti elettrici. Schemi elettrici di centrali.

**3. Generazione con fonti integrative.**

Principali fonti disponibili e problemi connessi alla loro utilizzazione, tempo di restituzione energetico, ricerca della soluzione più economica.

In particolare: energia solare fotovoltaica - energia eolica.

Sfruttamento solo locale, con o senza accumuli; possibilità di messa in parallelo sulla rete elettrica.

**4. Trasmissione.**

Linee elettriche come doppio bipolo. Distribuzione della corrente nei conduttori in c.a.; perdite e resistenza in c.a.. Induttanza delle linee: caso monofase con calcolo diretto, integrale di Neumann, casi trifase binato, trifase qualsiasi; linee trasposte, due teme in parallelo; induttanza omopolare. Capacità: sistemi di equazioni e impostazione generale del calcolo: elastanze, calcolo diretto per due conduttori nello spazio, valutazione di auto e mutua elastanza; caso di due conduttori in presenza della terra, caso trifase sia per linea isolata che in presenza della terra, linea binata, linea trifase sottoposta a tensione omopolare; misura della capacità in cavi trifasi con superficie esterna equipotenziale.

Perdite laterali e conduttanza; effetto corona: tensione critica, perdite, disturbi; sforzi elettrodinamici. Circuiti equivalenti, valutazione delle costanti delle equazioni di funzionamento. Diagrammi di funzionamento e loro utilizzazione. Calcolo delle perdite e loro minimizzazione per le grandi linee; rendimento; diagrammi delle potenze e delle perdite. Studio a parametri distribuiti, per fenomeni impulsivi; propagazione; il fulmine ed i suoi effetti. Propagazione in regime sinusoidale; costante di propagazione, impedenza caratteristica, diagrammi di tensione e di corrente, lunghezza d'onda, potenza naturale.

**5. Impianti di terra.**

Terre di protezione e di funzionamento; aspetti fisiologici del problema delle fulminazioni. Resistenza di elettrodo emisferico e cilindrico. Impianti separati e non. Tensioni di passo e di contatto. Piastra equipotenziale; dispersori profondi. Metodi di calcolo di reti di terra. Normativa.

**6. Stato del neutro, sovratensioni transitorie e coordinamento dell'isolamento.**

Definizioni; norme. Influenza delle correnti di corto circuito sulla stabilità, sul riscaldamento dei conduttori, sulla scelta e sul coordinamento delle protezioni, sulle sovratensioni. Neutro direttamente a terra; a terra tramite impedenza; bobina d'estinzione. Neutro isolato: conseguenti valori e distribuzioni delle correnti e delle tensioni in caso di guasto.

Archi intermittenti a terra; ferrorisonanza; interruzione di correnti capacitive; interruzione progressiva o rapida di correnti induttive.

Coordinamento dell'isolamento.

**7. Stabilità e regolazione.**

Linee di interconnessione e loro problemi. Scambi di potenza attiva e reattiva tra sistemi. Regolazioni trasversali e longitudinali. Uso di condensatori e reattori e loro regolazione. Massima potenza trasmissibile da una linea; fenomeno di autoeccitazione; stabilità di un sistema generatore-trasfor-

matore-linea; stabilità dinamica per brusco aumento di potenza motrice; stabilità dinamica per brusca variazione di impedenza.

### **8. Distribuzione.**

Reti a M.T. e B.T.. Reti radiali ed a maglie. Cabine di sezionamento, smistamento, trasformazione e regolazione. Calcolo delle reti di distribuzione.

Distribuzione cittadina e industriale.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni riguardano lo sviluppo di progetti di massima con calcoli numerici, schemi e disegni sommari di impianti di produzione, trasmissione, ricezione e distribuzione di lavoro elettrico.

Le singole parti saranno illustrate in linea generale all'inizio delle singole esercitazioni. Queste non richiedono necessariamente la presenza fisica dell'allievo che è comunque vivamente consigliata.

Chi non avrà svolto in modo soddisfacente i temi assegnati non potrà sostenere l'esame.

#### *Modalità d'esame*

L'esame si svolge oralmente.

Gli elaborati delle esercitazioni, già approvati, dovranno essere portati all'esame dove potranno formare oggetto di ulteriore interrogazione; essi dovranno essere presentati anche alla prova di laurea.

#### *Libri consigliati*

*Appunti al corso di Impianti Elettrici II* - CUSL.

F. Iliceto *Impianti elettrici* voi. I, ed. Pàtron Bologna.

## **IMPIANTI INDUSTRIALI**

**AR0108**

**Prof. Renato WEGNER**

#### *Programma d'esame*

- **L'impianto industriale.** Principio economico. Principio del traffico.
- **Lo studio di fattibilità in vista di nuove realizzazioni.** Studio di Mercato. Ubicazione. Scelta del ciclo produttivo. Layout. Definizione dei costi di realizzazione e produzione. Piano economico e finanziario. Valutazione dell'iniziativa. Criteri di scelta degli investimenti. Analisi di sensitività e di rischio.
- **Cenni di analisi economica.** Obiettivi dell'impresa. Il fenomeno delle economie di scale. La struttura dei costi e dei ricavi dell'impresa. La funzione di produzione. L'impiego ottimale dei fattori produttivi. L'utilizzo dei modelli lineari come espressione della "funzione di produzione" di un'azienda. Utilizzo dei dati di un modello lineare per assumere decisioni di ristrutturazione di impianti.
- **Strategia di impresa e strategia produttiva.** Obiettivi competitivi di un sistema di produzione: economicità, qualità, flessibilità, servizio. Collegamento tra il sistema produttivo e il ciclo di vita dei prodotti.
- **Scelta della ubicazione,** metodologie generali e riferimenti alla situazione italiana e alle politiche di incentivazione per l'insediamento di nuove iniziative industriali.
- **Lo studio del layout di un impianto di produzione.** Analisi dei prodotti. Analisi delle relazioni e dei flussi di materiali. Costruzione di schemi di un layout di riferimento e valutazione dei vari fattori di modifica. Formulazione delle alternative di layout e criteri di scelta. Determinazione au-

tomatica della sistemazione relativa dei reparti. Sviluppo dell'impianto nel tempo. Elasticità. Ampliamento. Pianificazione del layout. Bilanciamento delle linee di produzione.

- **Riflessi sulla progettazione impiantistica delle nuove forme di organizzazione del lavoro.** Nuove impostazioni del layout. La progettazione delle linee di assemblaggio.

- **Principi generali di progettazione dei servizi di impianto.** Schema generale. I fattori di scelta. Efficienza del servizio. Dimensionamento della centrale.

- **Trasporti interni e logistica industriale.** Criteri di scelta dei mezzi di trasporto interni degli stabilimenti. Tipi di mezzi di trasporto e criteri di scelta. Unità di carico. Potenzialità di un sistema di trasporto. Tipologie dei carrelli industriali. AGV. Stoccaggio dei materiali. Tipi di magazzini e criteri di scelta. L'organizzazione fisica dei vari tipi di magazzini. L'organizzazione della rete di distribuzione. Il controllo del flusso dei materiali.

- **Il "project management".** Organizzazione dei progetti di impianto.

- **La sicurezza** negli impianti industriali. Criteri e normative.

- **Metodi quantitativi per le decisioni impiantistiche.** Applicazioni di Ricerca Operativa ai problemi industriali. Programmazione matematica. Teoria delle file di attesa. Modelli combinatori. Simulazione: criteri di impostazione dei modelli, impiego di software specializzati, valutazione dell'affidamento dei risultati. La simulazione come strumento di progettazione impiantistica.

#### *Esercitazioni*

Nell'ambito delle esercitazioni verrà impostato per gli studenti che lo scelgono il progetto di laurea di contenuti impiantistici.

Gli allievi che non svolgono un progetto di laurea con adeguati contenuti impiantistici sono tenuti comunque a svolgere un sintetico elaborato attinente alcuni aspetti progettuali di un sistema di produzione.

Nel corso delle esercitazioni vengono anche discussi casi aziendali attinenti le problematiche di strategia della produzione.

#### *Modalità d'esame*

Per essere ammesso all'esame l'allievo deve avere svolto in misura sufficiente il tema di impianto assegnatogli per il progetto o l'elaborato. L'esame consiste in una interrogazione e/o prova scritta sulla materia facente parte del programma delle lezioni. Subordinatamente all'esito sufficiente di tale prova si procederà all'esame e alla discussione degli elaborati e della relazione costituenti il progetto o l'elaborato.

#### *Libri consigliati*

- Dispense del corso:

*Studio di fattibilità e layout* - Cusl

*Material handling e simulazione* - Cusl

*Fattori e criteri di analisi e progettazione dei sistemi produttivi*. Volume I e II - Cusl

e inoltre:

- A. Monte: *Elementi di impianti industriali* - Edizioni Libreria Cortina

- B. Martinoli: *La simulazione* - F. Angeli Editore.

- R. Raimondi: *Collana di impiantistica* - F. Angeli Editore.

Testi applicativi di ricerca operativa.

**IMPIANTI MECCANICI****000840****Proff. Carlo MARCOLLI, Francesco TURCO***Programma d'esame***1) PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE DEGLI IMPIANTI.****1.1) Elementi di economia della produzione industriale.**

L'impianto e l'impresa industriale: definizione di impianto industriale; gli obiettivi economici della produzione; gli impianti di servizio.

I costi di produzione: analisi e classificazione; Tammortamento dei beni strumentali nella contabilità dei costi; la disciplina fiscale dell'ammortamento.

L'utilizzo delle variabili economiche nelle decisioni concernenti gli impianti: il diagramma costi-volumi e il punto di pareggio; il volume ottimale di produzione; il margine di contribuzione e il suo utilizzo; l'influenza del tempo: interesse, capitalizzazione, valore attuale; il costo di impianto, il costo di esercizio e le loro relazioni; i limiti alla durata utile dei beni strumentali; la problematica di rinnovo degli impianti; i criteri di valutazione della redditività degli investimenti industriali.

**1.2) Problemi ricorrenti nella progettazione degli impianti.**

L'affidabilità e la disponibilità negli impianti industriali: l'affidabilità e la disponibilità di componenti isolati; l'affidabilità e la disponibilità di sistemi complessi: sistemi tipo serie e sistemi tipo parallelo; esempi concreti; considerazioni economiche.

La scelta del grado di centralizzazione nella produzione dei servizi: le economie di scala; l'influenza della affidabilità; l'influenza della variabilità della richiesta; le diseconomie di scala.

Il dimensionamento degli accumulatori-polmone.

**1.3) Tecniche di ricerca operativa nella progettazione degli impianti.**

La programmazione lineare; la simulazione; la teoria delle code; l'analisi delle decisioni in condizioni di incertezza.

**1.4) Il progetto di massima e la realizzazione dell'impianto.**

L'analisi di fattibilità; cenni sui problemi di layout; le tecniche per la stima del costo di impianto; la programmazione dei lavori e la tecnica PERT.

**2) GLI IMPIANTI DI SERVIZIO: DESCRIZIONE E CRITERI DI PROGETTAZIONE.****2.1) Trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica.**

Schemi elettrici: schemi multifilari, unifilari, funzionali; calcolo della potenza installata e scelta della potenza contrattuale; tariffazione dell'energia elettrica; scelta delle tensioni secondarie; schemi di distribuzione in MT e in BT; dimensionamento dei centri di carico; dimensionamento dei conduttori; verifica del fattore di potenza e calcolo della capacità rifasante; calcolo delle correnti di corto circuito; interruttori e sistemi di protezione; protezione contro i contatti accidentali.

**2.2) Produzione e distribuzione dell'energia termica.**

Criteri di scelta del fluido intermediario per la distribuzione dell'energia termica; impianti di generazione ad acqua e a vapore; principali tipi di generatori di vapore; impiego e dimensionamento degli accumulatori di vapore; disegno e dimensionamento delle reti di trasporto del vapore: calcolo delle perdite di energia e delle cadute di pressione; dimensionamento dello spessore isolante; accessori delle reti; impianti di cogenerazione: schemi alternativi, energia producibile, funzionamento in by-pass e in sfioro, economia della cogenerazione.

**2.3) Trasporto dei fluidi e dei materiali solidi.**

Trasporto fluidi: le tubazioni in acciaio: norme, unificazioni, materiali, criteri di dimensionamento; valvole, flange, guarnizioni, sforzi nelle tubazioni derivanti da sollecitazioni termiche; giunti di dilatazione e supporti di tubazioni.

Trasporto dei materiali solidi: elementi componenti il ciclo di trasporto; classificazione e caratteristiche dei mezzi di trasporto; determinazione della capacità di trasporto; costi di trasporto; scelta del mezzo di trasporto.

#### **2.4) Servizio aria compressa.**

Applicazioni industriali dell'aria compressa; rendimento di un sistema pneumatico; classificazione e caratteristiche dei generatori di potenza pneumatica (compressori); dimensionamento delle reti di distribuzione dell'aria compressa; vibrazioni e formazione di condensa nelle condotte; serbatoi e separatori di condensa.

#### **2.5) Servizi di controllo delle condizioni ambientali: Condizionamento. Illuminazione.**

Condizionamento: fisica dell'aria umida; determinazione delle condizioni termoigrometriche da mantenere; benessere fisiologico; schema generale di un impianto di condizionamento; ciclo di condizionamento estivo ed invernale; trasformazioni dell'aria: umidificazione, raffreddamento; ciclo frigorifero e torri di raffreddamento; dimensionamento dei canali di ventilazione.

Illuminazione: leggi e grandezze principali dell'illuminotecnica; sorgenti luminose e loro caratteristiche; apparecchi illuminanti; prescrizioni generali di un impianto di illuminazione artificiale; calcolo del flusso totale; verifica di illuminamento punto per punto; curve isolux e loro impiego.

#### **2.6) Approvvigionamento dell'acqua industriale e trattamento delle acque reflue.**

Approvvigionamento dell'acqua: caratteristiche dell'acqua in relazione al suo utilizzo a fini industriali: durezza, alcalinità, sostanze sospese, gas disciolti; reperimento delle acque in natura: fonti superficiali e sotterranee; opere di presa e pompaggio; falde freatiche e loro comportamento; altezza massima di aspirazione delle pompe; principali trattamenti fisici dell'acqua: griglie, filtri, sedimentatori, flocculatori; principali trattamenti chimici dell'acqua: addolcimento, demineralizzazione, trattamento dell'acqua per caldaie.

Trattamento delle acque reflue: impurezze contenute nelle acque reflue: sostanze sospese, sostanze acide e basiche, sostanze tossiche, sostanze oleose, inquinanti organici; raccolta delle acque; dimensionamento delle tubazioni di convogliamento delle acque; scarichi industriali e loro disciplina; BOD e sua misura; impianti di trattamento.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consisteranno in elaborati di carattere applicativo, che dovranno essere presentati in sede d'esame.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale, che potrà essere preceduta dalla soluzione scritta di un problema di carattere applicativo.

#### *Libri consigliati*

F. Turco: *Principi generali di progettazione degli Impianti Industriali*, CittàStudi, 1993.

C.F. Marcolli: *Impianti Industriali Meccanici - Servizio Elettrico, Servizio Illuminazione*, CittàStudi, 1993.

P. Parolini: *Impianti Industriali Meccanici - Produzione e distribuzione del calore, Trasporto dei fluidi*, CittàStudi, 1993.

R. Cigolini, F. Turco (a cura di): *Casi di Impianti Industriali*, CittàStudi Edizioni, 1995

C. Pizzetti: *Condizionamento dell'aria e refrigerazione*, Masson Italia Editore, 1980

A. Monte: *Elementi di Impianti Industriali - Voi. I e II*, Libreria Editrice Scientifica Cortina, 1979

**IMPIANTI NUCLEARI I + PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI NUCLEARI [11[2] AV0112  
Proff. Carlo LOMBARDI, Sergio TERRANI***Programma d'esame***1. IMPIANTI NUCLEARI I****1.1. Generalità.**

Risorse e consumi energetici. Richiami di fisica nucleare e neutronica. Schema di principio di un reattore nucleare.

**1.2. Reattori di potenza.**

Reattori a grafite, ad acqua leggera in pressione, ad acqua leggera bollente, ad acqua pesante. Reattori veloci.

**1.3. Ciclo del combustibile.**

Risorse e domanda di uranio. Utilizzo dei materiali fertili. Riciclo del plutonio. Purificazione ed arricchimento dell'uranio. Fabbricazione dell'elemento di combustibile. Trasporto e trattamento del combustibile esaurito. Immagazzinamento dei rifiuti radioattivi.

**1.4. Termomeccanica.**

Meccanismi di guasto. Distribuzioni di temperatura in solidi. Sforzi di origine termica. Metodo degli elementi finiti.

**1.5. Sicurezza degli impianti nucleari.**

Scopi della sicurezza. Potenziali incidenti, sicurezza intrinseca. Sistemi attivi e passivi. Sistema di iniezione di emergenza. Il contenitore. Valutazione del grado di sicurezza. Approccio deterministico e probabilistico. Gli incidenti avvenuti negli impianti nucleari.

**1.6. Costi di produzione dell'energia elettronucleare.**

Peculiarità dei costi elettronucleari. Costi di produzione. Metodo del valore attuale. Applicazioni.

**1.7. Ruolo dell'energia nucleare.**

Fattori che ne influenzano lo sviluppo. La proliferazione nucleare. Programmi elettronucleari nel mondo.

*Esercitazioni*

Nelle esercitazioni saranno sviluppati complementi alle lezioni ed esercizi.

*Libri consigliati*

C. Lombardi: *Impianti Nucleari*, ed. CLUP.

**2. PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI NUCLEARI****2.1. La radioprotezione nell'impegno su larga scala della radiazione.**

Grandezze e unità di misura in R.P. Modalità di irraggiamento dell'individuo - irraggiamento interno ed esterno. Uomo standard. Norme vigenti per la radioprotezione in Italia. Nuovi principi di R.P., la raccomandazione N. 60 dell'ICRP e sua contestazione.

**2.2. Dosimetria.**

Dosimetria ionometrica - Principio di Bragg. Dosimetria calorimetrica. Dosimetria fotografica. Dosimetria a stato solido. Monitori personali. Monitori d'area. Contaminazione superficiale e sue misure. Misura della contaminazione dell'acqua, degli alimenti etc. Misura della contaminazione interna. Metodi particolari di dosimetria per condizioni eccezionali.

**2.3. Problemi di protezione nell'esercizio degli impianti nucleari.**

Sistemi di protezione del personale addetto agli impianti. Il ciclo del rifiuto radioattivo per solidi, liquidi, aeriformi. La sicurezza nucleare. Cenni di criteri per stabilire il rischio connesso con un

impianto nucleare. La difesa in profondità. Le salvaguardie nucleari. La protezione fisica degli impianti. Piani di emergenza nucleare.

#### **2.4. Problemi di protezione nello smantellamento degli impianti nucleari.**

##### *Esercitazioni*

Nelle esercitazioni saranno sviluppati complementi alle lezioni ed esercizi.

##### *Esercitazioni pratiche*

Calibrazione di monitori d'area. Calibrazione di monitori personali. Dipendenza dalla energia di monitori a camera di ionizzazione. Calibrazione di dosimetri fotografici. Misura di radioattività dell'aria. Misura di radioattività dell'acqua (tre esercitazioni a scelta del docente).

##### *Libri consigliati*

C. Poivani: *Elementi di radioprotezione*, ENEA 1987.

J.C. Collins: *Radioactive Wasters, their Treatment and Disposal*, E.I.F.N. Span Ltd, London 1960.

T. Jager: *Principles of Radiation Protection Engineering*, McGraw-Hill, 1965.

H. Cember: *Introduction to health physics*, Pergamon Press, London 1969.

J. Shapiro: *Radiation Protection*, Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1972.

H. Kiefer, R. Maushart: *Radiation Protection Measurement*, Pergamon Press, 1972.

## **IMPIANTI NUCLEARI II**

**AV0111**

**Prof. Carlo LOMBARDI**

### *Programma d'esame*

#### **IMPIANTI NUCLEARI II**

##### **1. Generalità**

Risorse e consumi energetici mondiali e italiani. Le alternative energetiche. Il risparmio. Gli effetti ambientali. La proliferazione nucleare.

##### **2. Cicli termodinamici associati ai reattori nucleari.**

Cicli a vapor saturo e surriscaldato, rigenerazione. Generatori termici nucleari. Turbine a vapore. Ciclo diretto. Metodi di calcolo delle grandezze caratteristiche del ciclo. Cicli a gas.

##### **3. Termoidraulica del fluido termovettore.**

Moto dei fluidi monofasi. Equazioni di conservazione. Cadute di pressione. Trasferimento del calore. Fluidi a bassa ed alta conducibilità. Alettature. Miscele bifase. Il canale bollente. Idrodinamica e densità delle miscele. Cadute di pressione. Crisi della trasmissione del calore. Instabilità termoidrauliche. Condensazione.

##### **4. Effetti termici di impianti termoelettrici.**

Aspetti quantitativi. Effetti sull'ecosistema. Norme di protezione. Metodi alternativi di raffreddamento. Possibili utilizzi del calore a bassa entalpia.

##### **5. Protezione e schermi.**

Unità di dose e danno biologico. Sorgenti radioattive di un reattore. Attenuazione della radiazione nella materia. Schermi per reattori. Protezione da irradiazione interna. Trattamento effluenti radioattivi.

##### **6. Ingegneria dei circuiti.**

Tipici circuiti di un impianto nucleare. Progetto dei circuiti. Tubazioni. Valvole. Pompe.

**7. Elemento di combustibile.**

Requisiti funzionali. Progetto termomeccanico. La barretta. L'interazione guaina-pastiglia. Il fascio di combustibile.

**8. Impianti nucleari di nuova generazione.**

Le tendenze progettuali attuali. Evoluzione dei requisiti di sicurezza. La sicurezza intrinseca e passiva. I reattori avanzati, evolutivi e innovativi. Nuovi sistemi nucleari. L'utilizzo del plutonio.

*Esercitazioni*

Verranno esemplificati i criteri di progettazione termoidraulica, meccanica ed economica.

*Libri consigliati*

C.Lombardi *Impianti Nucleari*, ed.CLUP, 1993.

**IMPIANTI SPECIALI** (*Tecniche di progettazione*)**AQ0107****Prof. Carlo NOE'***Programma d'esame***1) Le problematiche di progettazione e gestione degli impianti industriali.**

2) **Definizione e analisi delle prestazioni caratteristiche degli impianti** (capacità, flessibilità, convertibilità, disponibilità, monitorabilità, non degradabilità, integrabilità, ecc.).

**3) Tecniche e strumenti per la progettazione di impianti e sistemi di produzione.**

## 3.1) Group Technology

Metodi di classificazione, tipi di codici, automazione delle codifiche.

Applicazione della Group Technology per la definizione del sistema di produzione.

## 3.2) La simulazione dei processi discreti e continui

Richiami di presupposti teorici.

Analisi di codici di simulazione.

Applicazioni.

## 3.3) Metodi quantitativi per l'assicurazione della qualità del processo e del prodotto

Applicazione di modelli per: l'analisi del livello di qualità dei flussi di prodotto lungo il processo di produzione; le scelte per l'attuazione di controlli e monitoraggi.

La determinazione della tolleranza industriale e della capacità del processo.

## 3.4) Metodi quantitativi per la determinazione di disponibilità e affidabilità negli impianti

Risk analysis.

FTA (Fault Tree Analysis).

FMEA e FMECA (Failure Modes Effects and Criticality Analysis).

Applicazione dei modelli markoviani e delle reti di Petri.

Politiche di manutenzione e loro applicazione.

## 3.5) Metodi di analisi del lavoro diretto

Applicazione delle curve di esperienza: il modello di curva di riferimento ed i criteri per la sua scelta; la determinazione dei relativi parametri caratteristici; l'analisi dell'influenza del tempo sulle scelte adottate; il controllo delle prestazioni.

## 3.6) Tecniche per la Concurrent Engineering

Le interconnessioni progettazione-produzione.

Condizioni e criteri per la parallelizzazione di fasi della progettazione di sistemi.

Il supporto informatico alla Concurrent Engineering.

*Esercitazioni*

Esercizi e casi didattici sugli argomenti del corso.

*Modalità d'esame*

Esame orale con discussione delle esercitazioni svolte durante l'anno accademico.

*Libri consigliati*

Dispense del corso

Altri riferimenti bibliografici segnalati durante lo svolgimento del corso.

A. Carrie: *Simulation of manufacturing systems*, J. Wiley & Sons.

M. Bonfioli, C. Noè, M. Silvestri: *Metodo simulativo per il controllo della qualità*, ed. F. Angeli.

R. E. Markland, J. Sweigart: *Quantitative methods: application to managerial decision making*, J. Wiley & Sons.

M. P. Groover, E. W. Zimmers jr.: *CAD/CAM. Computer Aided Design and manufacturing*, Prentice Hall International

**IMPIANTI SPECIALI DI CLIMATIZZAZIONE****AK0112****Prof. Cesare Maria JOPPOLO***Programma d'esame*

**1. Aria Umida** - Concetti e leggi fondamentali.

Il diagramma deU'aria umida nella rappresentazione di Mollier Carrier e della ASHRAE.

Le principali trasformazioni dell'aria umida e loro rappresentazioni sui diagrammi.

**2. Le condizioni ambientali per il benessere -1** fattori ambientali e i fattori fisiologici che determinano le condizioni di benessere. La temperatura effettiva. I diagrammi di Fanger e della ASHRAE. Le condizioni di progettazione.

**3. Il calcolo termico degli impianti di condizionamento** - Il calcolo termico estivo: radiazione solare, trasmissione attraverso tetti e muri, infiltrazioni, carichi termici interni; teoria dell'accumulo - Il calcolo termico invernale: disperdimenti, infiltrazioni, ponti termici, supplementi.

Portata e temperatura deU'aria immessa in ambiente. La norma UNI 7357/74 per il calcolo del fabbisogno termico e i decreti di applicazione delle leggi 373/76 e 10/91 sul risparmio energetico

**4. Il ciclo frigorifero** - Concetti e leggi fondamentali. Il ciclo a compressione. Il ciclo ad assorbimento. La pompa di calore. I refrigeranti per i cicli a compressione e ad assorbimento.

**5. La produzione dell'energia termica (caldo e freddo)** - Centrali termiche ad acqua calda, ad acqua surriscaldata, a vapore.

**6. La distribuzione dell'energia termica (caldo e freddo)** - Schemi di impianto - Schemi di distribuzione.

**7. Gli impianti frigoriferi e loro principali componenti** - Compressori alternativi, condensatori, torri evaporati ve, evaporatori. Centrali frigorifere con compressori centrifughi e con macchine ad assorbimento. La scelta della centrale frigorifera negli impianti di condizionamento dell'aria.

**8. La regolazione automatica degli impianti frigoriferi** - Tubi capillari, valvole termostatiche, valvole di regolazione del livello del liquido, valvole a solenoide e barostatiche, pressostati, termostati. Loro particolari costruttivi.

**9. Le centrali di riscaldamento urbano** - Termodinamica dei sistemi a energia totale - Classificazione - Tipologia (caldaie, turbina a vapore, turbina a gas, motori a combustione interna) - Sistemi di accumulo termico - Tipologie e funzioni.

**10. Reti cittadine di distribuzione del calore** - Schemi ad albero e ad anello - Regolazione della potenza trasmessa mediante variazione della portata e della temperatura del fluido in circolazione.

**11.1 circuiti idraulici** - Generalità. Dimensionamento delle tubazioni e delle pompe di circolazione. L'isolamento. Il trattamento dell'acqua.

**12. Ventilatori. Canali dell'aria** - Il moto dell'aria nei condotti, ventilatori centrifughi, assiali, diametrali. Ventilatori in serie e in parallelo. La regolazione della portata. Il dimensionamento dei canali di distribuzione dell'aria negli impianti di condizionamento a bassa velocità e ad alta velocità. Metodo a riduzione di velocità, a perdite di carico costante, a recupero di pressione statica. Modalità di costruzione.

**13. La filtrazione dell'aria.**

**14. La distribuzione dell'aria.**

**15. Il funzionamento a carico parziale degli impianti di condizionamento dell'aria** - Suddivisione in zone e tipo di impianto.

**16. La regolazione automatica degli impianti di condizionamento dell'aria** - Diversi sistemi di regolazione. Modalità di intervento. Tipi di elementi sensibili. Tipi di trasduttori. Tipi di regolatori. Organi finali di regolazione. Regolazione della portata di vapore, di acqua, di aria.

**17. Caratteristiche e dimensionamento di diversi tipi di impianti di condizionamento dell'aria** - Classificazione degli impianti di condizionamento dell'aria. Impianti a sola aria, ad aria/acqua, a sola acqua, a fluido refrigerante. Impianti multizone, a doppio canale, a induzione (a due, a tre, a quattro tubi), a ventilconvettori (con o senza aria primaria). Confronto tra i vari tipi di impianti di condizionamenti dell'aria e criteri di applicazione.

**18. Le macchine per il condizionamento dell'aria** - Condizionatori di tipo centrale, ad ugelli, ad induzione. Ventilconvettori, condizionatori autonomi. Condizionatori da finestra. Pompe di calore locali. Cassette miscelatrici. Sistemi di costruzione in uso.

**19.1 recuperatori di calore dell'aria di espulsione.**

**20. Impianti di condizionamento industriale** - Principi e tipologie.

**21. Impianti di condizionamento specifici: per i veicoli, aerei, containers, ecc..**

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consisteranno principalmente in seminari integrativi al Corso in cui verranno illustrati argomenti complementari ed integrativi dell'insegnamento.

Essi verranno prevalentemente svolti da professionisti particolarmente esperti della materia che apporteranno insieme alle più recenti informazioni tecniche il contributo della loro esperienza.

Le esercitazioni potranno essere integrate da visite a impianti particolarmente significativi.

### *Libri consigliati*

C. Pizzetti: *Condizionamento dell'aria e refrigerazione*, Masson Italia ed. Milano, 1980.

A. Briganti: *Manuale della climatizzazione*, ed. Tecniche Nuove, 1992.

Ashrae Guide & Data Book: *Fundamentals and Equipment*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning engineers. Atlanta (GA) USA, 1989.

New York Carrier Air Conditioning Company, *System Design Manual*, McGraw-Hill, New York 1990 e successivi aggiornamenti.

E. Pedrocchi, M. Silvestri: *Introduzione alla termodinamica*, CLUP, Milano 1986.

**IMPIANTI SPECIALI IDRAULICI**  
**Prof. Alberto BIANCHI****AU0005***Programma d'esame***Impianti idroelettrici.**

- il problema energetico
- il consumo di energia elettrica
- risorse idriche per la produzione di energia elettrica: indagini idrologiche, curve delle durate
- piano di utilizzazione di un bacino: curva idrodinamica, caratteristica idrologica di un'utilizzazione
- tipologia degli impianti idroelettrici
- parti costituenti gli impianti
- aspetti tecnologici particolari degli impianti idroelettrici: condotte forzate, centrali
- turbine: elementi costruttivi di una turbina, cenni di problemi di progettazione, triangolo delle velocità, rendimento, velocità specifica e numero di giri caratteristico, classificazione e tipi di turbine, scelta della turbina, regolazione delle turbine, velocità di fuga dei gruppi

**Problemi di moto vario negli impianti idroelettrici.**

- richiami di teoria del moto vario, sovrappressione massima, formula di Michaud
- moto vario nel sistema galleria-pozzo piezometrico
- manovre da considerare e risoluzione di alcuni casi particolari
- integrazione alle differenze finite
- tipi di pozzi piezometrici
- cenni al dimensionamento diretto dei pozzi piezometrici
- stabilità del sistema galleria in pressione - pozzo piezometrico - condotta forzata, formula di Thoma

**Impianti di sollevamento.**

- pompe centrifughe: grandezze fondamentali e relazioni tra prevalenza, numero di giri, potenza e portata, diagrammi caratteristici delle pompe centrifughe, leggi di affinità, numero di giri specifico, rendimenti e fattori che lo influenzano, NPSH.
- pompe a velocità variabile, pompe reversibili
- curva caratteristica dell'impianto e punto di funzionamento, pompe in serie, pompe in parallelo, stabilità e avviamento dell'impianto
- centrali di pompaggio
- parti costituenti un impianto (condotte, pezzi speciali, accessori), perdite continue e localizzate, tipi di impianti di sollevamento
- classificazione e altri tipi di pompe

**Problemi di moto vario degli impianti di sollevamento.**

- teoria del moto vario negli impianti di pompaggio: risoluzione col metodo delle linee caratteristiche
- dispositivi di protezione dal colpo di ariete (casse d'aria, volani, by-pass, valvole di sicurezza)
- riempimento di una condotta, degasificazione di una condotta

**Impianti di bonifica e irrigazione.**

- aspetti giuridico-amministrativi e di assetto territoriale connessi con l'utilizzazione delle acque, bonifica integrale (i nuovi compiti della bonifica e la programmazione territoriale)
- indagini pluviometriche, coefficiente udometrico, calcolo idraulico delle reti di bonifica
- drenaggio del terreno
- bonifica idraulica per prosciugamento e per colmata, franco di bonifica, bonifiche idrauliche a scolo naturale perenne, a scolo meccanico, di tipo misto, problemi costruttivi e di esercizio delle reti, principali manufatti, impianti idrovori
- bilancio idrologico del terreno agrario, fabbisogni, dotazioni, volumi di adacquamento
- consegna a turno e a domanda, ottimizzazione delle reti irrigue di distribuzione

- irrigazione per espansione
- irrigazione a pioggia
- irrigazione a goccia

#### **Idrometria, telemisure, telecontrollo, automazione.**

- unità di misura del Sistema Internazionale
- idrometria: misure di livello, (idrometri, sonde), misure di pressione (manometri, celle di pressione), misure di velocità (mulinelli, Pitot, tachimetro a filo caldo), misure di portata di correnti in pressione (venturimetri, boccagli, diaframmi, misuratori magnetici, contatori), misure di portata di corrente a pelo libero (mulinelli, stramazzi, venturimetro a canale, metodo delle soluzioni saline)
- telemisura e telecontrollo nelle reti in pressione
- telemisura e telecontrollo nelle reti a pelo libero.

#### *Esercitazioni*

Gli studenti dovranno elaborare progetti di massima ed esercizi concatenati degli impianti trattati nel corso. Gli elaborati progettuali e le esercitazioni formano oggetto di esame.

#### *Libri consigliati*

- A. Bianchi, P. Ghilardi, S. Mambretti: *Il moto vario elastico nelle condotte in pressione*, CittàStudi, Milano, 1992.
- D. Citrini, G. Nosedà: *Idraulica*, CEA, Milano, 1975.
- G. Evangelisti: *Impianti idroelettrici*, Voli. I e II, Patron, Bologna, 1964.
- J. Doorenbos, W.O. Pruitt: *Crop water requirements*, FAO, Roma, 1977.
- G. Nosedà: *Problemi di moto vario*, Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Milano.

## **IMPIEGO INDUSTRIALE DELL'ENERGIA** **Prof. Giovanni LOZZA**

**AK0034**

#### *Programma d'esame*

- 1.1 consumi, le riserve e gli utilizzi dell'energia:** Consumi e riserve di energia primaria nel mondo - Utilizzi dell'energia in Italia: dati storici, il bilancio globale, la situazione elettrica, il gas naturale.
- 2. I principi fondamentali nello studio delle macchine:** Richiami sul comportamento dei fluidi - La conservazione dell'energia nei sistemi aperti e il lavoro euleriano - Principi di funzionamento e trasformazioni termodinamiche - Caratteristiche progettuali influenti sulle prestazioni - La similitudine nelle turbomacchine.
- 3. Analisi delle macchine motrici e operatrici:** Le turbine a fluido comprimibile (tipologie, limiti di velocità periferica, aspetti costruttivi e dimensionali) - I compressori (macchine assiali e centrifughe, curve caratteristiche, problemi di stallo, pompaggio, choking e di regolazione) - Macchine idrauliche.
- 4. Studio dei processi mediante il II principio:** Concetti di irreversibilità e distruzione di exergia - Equivalenti meccanici del calore e dei combustibili - Bilanci di II principio e relativi rendimenti - L'analisi delle irreversibilità - Esempi di applicazione a processi reali.
- 5. Produzione di energia elettrica (cicli termodinamici):** I cicli a vapore (aspetto termodinamico nelle varie classi di applicazione, limiti su massime pressioni e temperature, condensazione e smaltimento del calore, turbine a vapore) - I cicli a gas (ciclo semplice aperto: le macchine impiegate, i combustori, temperature massime raggiungibili e raffreddamento delle pale, le prestazioni; estensioni del ciclo semplice) - I cicli combinati gas/vapore (aspetto termodinamico, scelta della

pressione di evaporizzazione, cicli multipressione, prestazioni; repowering; altri tipi di cicli misti) - Confronto tra le varie tecnologie.

**6. Produzione di energia termica:** Le caldaie a combustione e la tematica dei combustibili utilizzabili - Le pompe di calore - Le macchine frigorifere - Problemi di trasporto e di accumulo di calore.

**7. Produzione combinata di energia elettrica/termica (cogenerazione):** Fondamenti termodinamici - Gli impianti cogenerativi (con macchine a vapore, turbogas, cicli e motori alternativi) - Aspetti economici (le tariffe elettriche, i costi dei combustibili, l'analisi di redditività) e normativi.

**8. Il problema ambientale:** Le emissioni degli impianti industriali e i limiti vigenti - Metodi di riduzione delle emissioni per caldaie a combustione, turbogas e motori alternativi (in particolare denitrificazione e desolfurazione).

**9. Tecnologie per il medio termine:** Risparmio energetico e aumento dei rendimenti di conversione - La gassificazione del carbone e degli oli pesanti - Le energie rinnovabili (solare, eolico, geotermico, biomasse).

#### *Esercitazioni*

Il corpo comprende alcune esercitazioni di carattere monografico, consistenti in applicazioni numeriche e progettini riguardanti i temi di maggior rilievo trattati nel programma.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consisterà in una prova orale.

#### *Libri consigliati*

- E. Macchi: *Termodinamica Applicata alle Macchine* - CLUP
- C. Casci: *Compressori di gas* - Masson
- C. Casci: *Motori a fluido bifase* - Masson
- G. Lozza: *Turbine a gas e cicli combinati* - Progetto Leonardo, Esculapio Editore, Bologna
- E. Macchi, P.M. Pellò, E. Sacchi: *Cogenerazione e teleriscaldamento* - CLUP

## **INFORMATICA GRAFICA (multimedia interattivo)**

**AG0217**

**Prof. Paolo PAOLINI**

#### *Programma d'esame*

1. struttura e progettazione di applicazioni interattive ipermediali
2. formati grafici e multimediali
3. grafica 2D
4. grafica 3D
5. la resa realistica
6. produzione di contenuti multimediali
7. La realtà virtuale, VRML
8. animazioni e Scripts
9. authoring ipermediale (Toolbook, Director, Java)
10. grafica e multimedia per il WWW
11. interazione uomo-macchina
12. interfacce grafiche: progettazione e realizzazione
13. supporto Data base per applicazioni ipermediali
14. la produzione professionale di CD-ROM e siti WWW

### *Esercitazioni*

Le lezioni affronteranno gli aspetti concettuali e generali dei problemi, mentre le esercitazioni svilupperanno i dettagli tecnici. E' prevista una intensa attività di Laboratorio.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste delle seguenti prove:

- a) uno scritto di preselezione di ammissione al progetto
- b) la realizzazione di un progetto multimediale interattivo ad elevato contenuto grafico
- c) la discussione orale sul progetto

I progetti saranno concordati con il docente, e saranno orientati a fornire una adeguata capacità di sviluppo di applicazioni effettivamente utilizzabili.

### *Testi consigliati*

Dispense sulla progettazione di applicazioni multimediali e ipermediali

J.Foley, A. Van Dam, S.K.Feiner, J.F.Hughes: *Computer Graphics Principles and Practice*, Addison Wesley

John Vince: *3-D Computer Animation*, Addison Wesley

Manuali di: *Strumenti di produzione grafica*, *Toolbook*, *Director*, *HTML*, *Java*, *VRML* e quanto altro si renda necessario.

## **INFORMATICA INDUSTRIALE**

**AG0268**

(per gli allievi in Ingegneria Elettrica, Elettronica ed Informatica)

**Prof. Lorenzo MEZZALIRA**

### *Programma d'esame*

#### **1) Aspetti introduttivi**

- L'architettura del CIM: caratteristiche ed apparecchiature dei vari livelli gerarchici.

#### **2) Problematiche di base**

- Specifiche, modelli e descrizioni: modelli e strumenti descrittivi del comportamento di un sistema e dei requisiti del sottosistema di automazione basato su calcolatori.

- Problematiche di tempo reale: il tempo e i calcolatori digitali; definizione di tempo reale; descrizione dei requisiti del sistema e delle prestazioni offerte. Componenti temporali: latenze, ritardi, tempi di elaborazione netti e lordi. Linguaggi di alto livello per la programmazione in tempo reale.

- Modelli implementativi di base: attribuzione di funzioni ad hardware e software. Il parallelismo fisico e virtuale con tecniche guidate dall'esecuzione, dal tempo o dagli eventi. Nuclei di sistemi operativi per il supporto di esecuzione. Problematiche di sincronizzazione, scheduling, inversione della priorità.

#### **3) Problematiche applicative**

- Segnali e interfacciamento: informazioni di stato e di evento associate a segnali analogici e digitali, in banda base e modulati. Superamento delle disomogeneità fisiche, formali, temporali, attitudinali e spaziali tra calcolatori e "mondo esterno". Problematiche specifiche relative a tipici sensori ed attuatori: encoder, termocoppie, elementi riscaldanti, azionamenti, ecc.

- Algoritmi di elaborazione: sintetica rassegna di algoritmi tipici delle applicazioni di misura, elaborazione dati, automazione e controllo. Rilievo, segnalazione e gestione di anomalie e allarmi. Tecniche hardware e software per la tolleranza ai guasti.

- Interfaccia operatore: cenni alle problematiche di interfacciamento uomo-macchina con le diverse figure di progettista, programmatore, installatore, gestore, conduttore e manutentore di un'applicazione.
- Modelli applicativi a flusso di controllo e a flusso di dati.
- Sistemi esperti e tecniche Fuzzy: cenni alle tecniche di impiego di sistemi a regole precise e sfumate.
- Sistemi distribuiti: richiami di architetture, collegamenti e protocolli nella prospettiva del tempo reale e delle applicazioni industriali. Bus di campo (fieldbus) e cenni a reti locali per i livelli di raccolta dati ed automazione.
- Tecniche di debug: problemi e tecniche di verifica, correzione e messa a punto di programmi nei tipici ambienti dell'automazione con calcolatori.

#### 4) Tecnologie applicative

- Controllori Logici Programmabili (PLC): obiettivi, architettura, linguaggi di programmazione e modello di esecuzione. Tendenze evolutive.
- Pacchetti SCADA: breve rassegna di tipi, caratteristiche e tecniche d'uso di pacchetti per acquisizione dati ed automazione con calcolatori. Esercitazioni

#### Modalità d'esame

Gli allievi sono invitati a presentare una relazione scritta (facoltativa) di rassegna o di approfondimento su tematiche di loro scelta del corso. L'esame orale consiste nella discussione del lavoro svolto e in domande volte ad accertare la preparazione generale sugli argomenti del corso. Informazioni dettagliate sono disponibili presso la Segreteria didattica del Dipartimento di Elettronica ed Informazione.

#### Libri consigliati

- Dispense delle lezioni e riferimenti bibliografici forniti durante il corso.
- Bums A., Wellings A. *Real-time Systems and their programming Languages*, Ed. Addison Wesley Pub. Co. 1989
- Gianguido Piani: *Multiprogrammazione e Sistemi di controllo*, Ed. Zanichelli, 1988
- H.W. Lawson: *Par allei Processing in Industrial Real-time applications*, Prentice Hall, 1992
- Roland L. Krutz: *Interfacciamento nella progettazione di sistemi digitali*, Ed. Jackson 1988

## INFORMATICA INDUSTRIALE

(per gli allievi di Ingegneria Gestionale)

**Proff.sa Piera SASSAROLI**

**AG0205**

#### Programma d'esame

Il Corso ha lo scopo di inquadrare le modalità di applicazione ed i principali mezzi disponibili per l'automazione dei processi industriali, con particolare riguardo ai processi discreti.

**1) L'elaboratore nell'automazione di fabbrica:** cenni sui sistemi operativi, programmazione per sistemi in tempo reale.

Macchine automatiche industriali a stati finiti, e con gradi di libertà continui. Cenni ai mezzi mecatronici per l'automazione: robot, macchine CN, AGV.

**2) Il flusso di informazioni verso le macchine automatiche:** specifiche funzionali dei sistemi di distribuzione e raccolta delle informazioni.

Le reti di elaboratori: software di gestione distribuita, architetture client-server, le reti locali.

**3) I controllori di area** per la gestione locale dei reparti. Impianti informatici per le linee automatiche di produzione; interfacce tra linee automatiche e il sistema informativo della produzione. Requisiti richiesti al sistema informatico della fabbrica. Flussi informativi, tecnici e gestionali, e flussi fisici nella fabbrica e strumenti per modellarli: IDEF, SADT CASE. Modello ISO della gestione della produzione.

**4) Sistemi assistiti dal calcolatore per l'automazione del ciclo produttivo.** I sistemi per la progettazione dei prodotti: sistemi per la descrizione geometrica degli oggetti a due o tre dimensioni e loro uso nei sistemi CAD; CAD specifici. Sistemi per la sintesi e analisi dei progetti meccanici (CAE) ed interfacce verso il CAD. Sistemi per la progettazione dei processi (CAPP) e sistemi per la programmazione automatica delle macchine operatrici (CAM).

**5) Integrazione delle attività di progettazione e controllo della produzione;** progettazione, preventivazione, acquisti, controllo produzione; definizione dei relativi data bases. Strutture accentrate e distribuite; uso di reti geografiche (posta elettronica, trasferimento di archivi, accesso remoto); esempi di reti esistenti.

**6) Strumenti informatici per la fabbrica basati su tecniche innovative.**

Concetti di logica fuzzy. I controllori fuzzy, esempi di applicazioni di fabbrica.

Metodi simbolici: rappresentazione della conoscenza e metodi di problem-solving. I sistemi esperti, e le loro applicazioni nella automazione del ciclo produttivo (progettazione, pianificazione, diagnosi, gestione della produzione, distribuzione e assistenza). I sistemi esperti in tempo reale.

Metodi sub-simbolici: reti neurali e loro applicazioni nel campo della produzione.

**7) Introduzione alla robotica;** definizione sistemistica e funzionale di robot; ruolo dei sensori. Criteri di classificazione dei robot: tipi di catene cinematiche, controllo, calcolo delle traiettorie. Applicazioni industriali dei robot di tipo manifatturiero e non. Cenno ai robot intelligenti.

#### *Esercitazioni*

Consisteranno nella stesura di rapporti relativi alle visite effettuate, e presentazione di casi concreti di applicazioni industriali.

#### *Testi consigliati*

Oltre agli appunti del Corso, si consigliano:

S. Ceri: *Architetture dei sistemi informatici*, ed. CLUP, 1991.

M. Groover, E. Zimmers: *CAD/CAM- Computer Aided Design and Manufacturing*, Prentice Hall, 1984.

M. Groover e altri: *Industrial Robotics*, Me Graw-Hill 1986.

P. Jackson: *Sistemi Esperti*, ed. Masson, 1990.

U. Rembold, R. Dillman: *Control and Programming in advanced manufacturing*, IFS Springer - Verlag, 1987.

D. Rolston: *Principles of Artificial intelligence and Expert Systems Development*, McGraw-Hill Book Compan.

A. Silberschantz, J. Peterson, P. Galvin: *Operating System Concepts*, Addison-Wesley

**INFORMATICA MEDICA**  
**Prof. Francesco PINCIROLI**

**AA0020**

#### *Programma d'esame*

**1. Informazioni Mediche, Cliniche e Sanitarie.** Vengono descritti i documenti di base solitamente impiegati nei vari ambienti. Vengono messe in luce le differenze e le similitudini sulla base sia

delle loro diverse sorgenti sia dei molteplici scopi per i quali le informazioni sono usate. Dati, tracciati ed immagini sono illustrati come esempi paradigmatici di tipi diversi di informazione, che impegnano in modi molto vari i dispositivi di elaborazione dell'informazione e richiedono l'impiego di metodi e tecniche appropriate allo specifico caso. Il modo in cui i differenti tipi di informazione sono usati per prendere decisioni sia diagnostiche sia terapeutiche viene descritto ponendo l'accento su possibili metodi quantitativi.

**2. Basi di dati.** Vengono illustrate le fondamentali definizioni di dato, campo, record, file, base di dati, sistema per la gestione di basi di dati. I principali tipi di dati sono illustrati sull'esempio di un file di personale medico. I tipi di files illustrati sono quelli a pila, sequenziale e sottotipi da esso derivati, multianello, "hashed", gerarchico, ad albero bilanciato. I modelli per la gestione di basi di dati presentati sono il gerarchico, quello della rete, il relazionale e quello entità-relazione. Vengono infine illustrati casi pratici di DBMS, OODBMS ed alcuni casi di pacchetti DBMS pre-orientati alle applicazioni di Medicina. Particolare attenzione è posta alla gestione di cartelle cliniche orientate temporalmente ed alla formalizzazione di caratteristiche di granularità, oblio e mancanza di significatività di alcune informazioni.

**3. Archivi di Biosegnali.** La disponibilità di archivi di segnali ben costruiti è recentemente diventata molto necessaria per scopi impegnativi, come ad esempio la validazione di algoritmi di classificazione automatica delle aritmie presenti in elettrocardiogrammi di lunga durata. Le tecniche di misura necessaria per descrivere quantitativamente le prestazioni dei rivelatori, dei condizionatori e dei visualizzatori per segnali biomedici sono illustrate sia nel dominio analogico che in quello digitale. Vengono altresì illustrati casi pratici di archivi di segnali: il MIT/BIH e l'AHA Arrhythmia Databases e l'archivio di segnali POLI-Medlav che include segnali sia elettrocardiografici sia respiratori registrati contemporaneamente da soggetti adulti normali.

**4. Supporti alla decisione.** L'automazione del processo decisionale medico è stata una delle aree di applicazione dei calcolatori fin dal loro apparire. I sistemi esperti costituiscono una fase recente di evoluzione del settore e la loro struttura è illustrata con dettaglio. Fatti e regole, reti semantiche e "frames" sono illustrate come tecniche con le quali formalizzare la descrizione della conoscenza. Viene dedicata attenzione sia alla costruzione sia - ed in particolare - alla valutazione di sistemi esperti per la Medicina. Vengono infine illustrati esempi pratici sia di gusci per lo sviluppo di sistemi esperti sia di implementazioni avanzate.

**5. Supporti per l'Insegnamento.** Più che la sostituzione dell'insegnante, ciò che si persegue è la costruzione di nuovi mezzi che egli possa usare in aggiunta agli strumenti dei quali già dispone al fine di migliorare l'efficacia della propria attività. Tutoriali, esercitazioni e pratica, sistemi valutativi, sistemi dedicati alla simulazione sia di caratteristiche ambientali sia di casi clinici, sistemi basati sulla teoria dei giochi: queste sono le principali classi di supporti che vengono illustrate assieme ad alcuni esempi scelti. Il sistema DEKS-Tutor è descritto come studio di un caso. Esso è costituito da tre parti principali. Il DEKG-Trainer che fornisce una simulazione ambientale. Il Clin-Arrh-Knowledge che è una base di dati relazionale che immagazzina razionalmente le conoscenze di aritmologia clinica orientate all'insegnamento. Il DEKG-Manager che è un prodotto di ingegneria del software che guida la navigazione dello studente quando egli commette errori di interpretazione. Vengono infine illustrati alcuni strumenti orientati all'insegnamento e basati su CD-ROM che sono apparsi di recente. Tra questi vi è l'Oxford Textbook on Medicine on "CD-ROM".

Numero totale di ore di lezione: 60.

Numero totale di sessioni di esercitazione: 20.

Numero totale di sessioni di laboratorio: 20

*Modalità d'esame*

Nel rispetto del calendario dell'anno scolastico accademico, l'esame - nella sola forma orale - è programmato dopo la fine del corso. Esso usualmente si estende anche alla conoscenza di un insieme di pacchetti e dimostrativi del tipo "free-software-exchange", che viene messo a disposizione degli studenti e aggiornato di anno in anno.

*Esercitazioni*

Durante l'anno si terranno seminari dedicati all'approfondimento ed all'ampliamento di argomenti pertinenti al corso e si effettueranno visite ad ospedali.

*Libri consigliati*

F. Pincioli editor: *Informatica di Base per la Medicina*, Utet/Uses Publishers in Firenze (Italy), 1991.  
M.C. Weinstein, H.V. Fineberg: *L'analisi delle decisioni in medicina clinica*, Franco Angeli editore, Milano, 1984.

W. Schneider, A.L. Sagvall Hein eds.: *Computational Linguistic in Medicine*, North Holland Publishing Company, Amsterdam 1977.

Richard F. Walters: *Database Principles for Personal Computers*, Prentice-Hall inc. - Englewood Cliffs, N.Y., 1987

F. Pincioli, J. Anderson eds.: *Changes in Health Care Instrumentation due to Microprocessor Technology*, North Holland Publishing Company, Amsterdam, 1981.

Harvard University - Massachusetts Institute of Technology, Division of Health Sciences and Technology: *MIT-BIH Arrhythmia Database: Tape Directory and Format Specifications*, Report of the Biomedical Engineering Center for Clinical Instrumentation, MIT, Cambridge, BMEC-TR010, 1980

Geert T. Meester and F. Pincioli eds.: *Data Bases for Cardiology* Kluwer Academic Publications in Dordrecht (The Netherlands), 1991.

F. Pincioli, V. Castelli and G. Mosca: *Fondamenti sull'uso dell'elaboratore per l'insegnamento ed applicazioni alla medicina*, Review paper in the Journal "Medicina e Informatica", voi. 5 n.3, 1988, pgg. 187-210.

J. Anderson, F. Gremy, J.C. Pages eds.: *Education in Informatics of Health Personnel*, North Holland/American Elsevier, Amsterdam, 1974.

J.C. Pages, A.H. Levy, F. Gremy, J. Anderson eds.: *Meeting the Challenge: Informatics and Medical Education*, North Holland Publishing Company, Amsterdam, 1983.

**INFORMATICA TEORICA (1/2 annualità, 1 e 2)****AG0227-238****Prof. Dino MANDRIOLI***Programma d'esame*

Il corso affronta in maniera sistematica i problemi fondamentali dell'informatica mettendo in evidenza come un approccio rigoroso e basato sui fondamenti teorici della disciplina abbia grande rilevanza nelle applicazioni pratiche.

Il corso è articolato in due semiunità, la prima delle quali fruibile indipendentemente dalla seconda.

*Prima semiunità***I modelli dell'informatica.**

- . Automi a stati finiti, automi a pila, Macchine di Turing
- . Grammatiche e linguaggi
- . Modelli non deterministici

Teoria della computazione.

- . Potenza dei modelli di calcolo
- . Tesi di Church
- . Problemi indecidibili

La complessità del calcolo.

- . Richiami di notazioni fondamentali per l'analisi di complessità (notazione asintotica "Big-Theta").
- . I modelli di calcolo e le relazioni tra le loro complessità computazionali (complessità delle Macchine di Turing, complessità delle Macchine a registri: relazioni polinomiali tra le funzioni di complessità).
- . Cenni alla complessità astratta. Gerarchie di complessità. Accelerazione lineare.
- . Problemi intrattabili ed NP-Completezza.

#### *Seconda semiunità*

Richiami di logica matematica.

- . Calcolo proposizionale
- . Calcolo dei predicati e teorie del prim'ordine
- . Assiomatizzazione dell'aritmetica e funzioni ricorsive
- . Cenni ai teoremi di incompletezza.

La semantica formale.

- . Motivazioni e tecniche di semantica formale
- . La semantica operativa
- . La semantica denotazionale
- . Applicazione della semantica formale a casi reali

Analisi formale di proprietà dei programmi.

- . La semantica assiomatica ed il suo uso per provare la correttezza di programmi
- . Esempi di analisi di correttezza. Valutazione dell'applicazione pratica delle tecniche formali di analisi
- . Cenni all'uso di tecniche di analisi di tipo induttivo (induzione computazionale).

Studio monografico di applicazione di tecniche formali ad un caso reale.

Questa parte del corso può variare di volta in volta ed essere coordinata con diversi corsi a carattere progettuale. Esempi di argomenti trattabili sono:

- . L'uso di modelli non deterministici per la computazione concorrente ed in tempo reale.
- . La formazione di metodi di progettazione del software e la progettazione di strumenti ad essi associati.
- . La formalizzazione di modelli di analisi e progettazione di sistemi informativi.
- . La teoria relazionale dei dati.
- . Modelli di computazione ad elevato parallelismo.
- . Modelli per la progettazione di compilatori.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

#### *Libri di testo*

- D. Mandrioli, C. Ghezzi: *Theoretical Foundations of Computer Science*, J. Wiley & Sons, 1987.  
Disponibile anche in traduzione italiana, editore CLUP, Milano.
- D. Mandrioli, A. Morzenti, P. San Pietro: *Esercizi di Informatica Teorica*, Esculapio, 1994.

*Precedenze*

La prima semiunità deve essere preceduta da Fondamenti di Informatica I. La seconda semiunità deve essere preceduta dalla prima. Si consiglia inoltre di farla precedere dalla prima semiunità del corso di Algebra.

Lo studente che seguisse entrambe le semiunità potrà scegliere se sostenere un esame per ognuna di esse o un esame unico per entrambe.

**INFRASTRUTTURE IDRAULICHE****AU0009****Prof. Renzo ROSSO***Programma d'esame*

**A. Introduzione all'ingegneria delle risorse idriche.** 1) Risorse idriche: quantità e distribuzione delle acque; ciclo idrologico; infrastrutture ed opere di utilizzazione delle risorse idriche e di asservimento idraulico del territorio. 2) Ingegneria idraulica: generalità (scopi, tipologia dei sistemi idrici, requisiti progettuali e gestionali); costruzioni idrauliche (opere di ritenuta, di regimazione e di adduzione delle acque); infrastrutture idrauliche (sistemi di approvvigionamento idrico, sistemi di smaltimento delle acque urbane; sistemi di irrigazione e drenaggio; sistemi di produzione di energia idraulica; sistemi di protezione idraulica del territorio; sistemi di conservazione del suolo). 3) Criteri e metodi della progettazione idraulica: progetto di sistemi idrici; affidabilità e rischio di progetto; tecnica della progettazione idraulica.

**B. Analisi delle risorse idriche e valutazione del rischio idrologico.** 1) Il bacino idrografico: attributi fisici e loro rappresentazione parametrica; osservazioni, misure e dati idrologici; variabili e processi idrologici. 2) Richiami sui modelli probabilistici: modelli discreti e contatori casuali; modelli continui; scale temporali e spaziali di applicazione. 3) Il problema della previsione: disponibilità idriche globali e locali; distribuzione temporale della disponibilità; frequenza degli eventi estremi e rischio idrometeorologico.

**C. Sensitività climatica dei sistemi idrici.** 1) Il sistema climatico: componenti, cause di variabilità, processi di retroazione. 2) Clima ed atmosfera: la fisica dell'effetto serra, il ruolo dei gas di serra, l'evoluzione della composizione atmosferica e la risposta del clima. 3) La sensitività climatica del ciclo idrologico: retroazioni tra clima e idrologia; modificazioni a scala globale, regionale e locale; transitorio e regime. 4) La vulnerabilità dei sistemi idrici in relazione alla disponibilità ed alla distribuzione temporale delle risorse idriche. 5) La vulnerabilità dei sistemi idrici in relazione al rischio idrogeologico. 6) Le strategie di attenzione e di intervento.

**D. Analisi economica dei progetti idraulici.** 1) Fattibilità economica e finanziaria di un progetto; obiettivi delle decisioni; criteri di valutazione degli investimenti. 2) Flussi di costi e benefici: tipologie e voci di costo e beneficio nel progetto di infrastrutture idrauliche; valori monetari e non-monetari; flussi temporali e metodi di attualizzazione. 3) Valutazione economica di un progetto: indici economici di valutazione (valore attuale netto, periodo di pareggio attualizzato, tasso interno di rendimento, rapporto costo-beneficio); criteri di valutazione (screening per economicità assoluta, ranking per rendimento finanziario); procedure di valutazione (valutazione di progetto, valutazione di gestione).

**E. Sistemi di approvvigionamento idrico.** 1) Valutazione della capacità del sistema: analisi e proiezione della domanda; caratteristiche tipologiche dei consumi; stime analitiche e sintetiche dei fabbisogni; dotazione idropotabile 2) Fonti di approvvigionamento: a) acque superficiali (quantità e distribuzione temporale della disponibilità, derivazione senza regolazione dei deflussi, derivazione da invasi di regolazione, criteri di valutazione della portata minima vitale dei corsi d'acqua); b) ac-

que sotterranee (richiami di idrogeologia, captazione da sorgenti, da pozzi in falde in pressione o a pelo libero). 3) Opere di adduzione: tipologie (per sollevamento o a gravità, in pressione o a pelo libero); verifica e progetto delle condotte adduttrici (calcolo in moto permanente, effetti delle manovre, tubazioni e pezzi speciali); impianti di sollevamento (pompe e curve caratteristiche, schemi in serie e parallelo, allocazione delle stazioni di pompaggio); piezometriche d'esercizio (statica, a tubi nuovi, a tubi usati, di manovra). 4) Reti d'acquedotto: schemi di distribuzione, criteri di tracciamento e posa delle tubazioni; calcolo idraulico delle reti in pressione (metodo Hardy-Cross); tubazioni per acquedotti (materiali, pressioni di esercizio, dimensioni normali, giunti e pezzi speciali); serbatoi di testata e di estremità (capacità, tipologia, camera di manovra). 5) Impianti privati. 6) Interventi di manutenzione.

**F. Sistemi di drenaggio urbano.** 1) Reti di smaltimento delle acque urbane: scopi, tipologia e struttura topologica; requisiti progettuali e gestionali. 2) Analisi e previsione delle sollecitazioni meteoriche: registrazioni pluviografiche, invarianza di scala dei nubifragi, linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, distribuzione temporale e spaziale della pioggia di progetto. 3) Valutazione dell'assorbimento e dell'afflusso in rete: intercettazione della coltre vegetale, infiltrazione nel terreno (modello analitico, modello hortoniano, computi globali), detenzione superficiale, metodi pratici di calcolo delle portate pluviali. 4) Valutazione del deflusso in rete: descrizione interna dello scorrimento sulle falde versanti (metodo cinematico); descrizione esterna dello scorrimento in rete (teoria lineare e quasi-lineare); modelli globali per il calcolo pratico (formula razionale, metodo della corrivazione, metodo dell'invaso); eventi critici in rete. 5) Problemi di verifica e di progetto delle reti pluviali. 6) Problemi tecnologici nella realizzazione e nella gestione dei sistemi di drenaggio urbano. 7) Interventi di manutenzione.

**G. Cenni sui sistemi di regimazione e controllo dei bacini idrografici.** 1) Morfologia dei bacini idrografici: i versanti (topografia, litologia, pedologia ed uso del suolo); la rete idrografica (planimetria del reticolo, profilo del corso d'acqua); caratteristiche dinamiche dell'idrografia. 2) Processi erosivi e di trasporto solido: erosione dei versanti; trasporto solido (regime torrentizio, regime fluviale); fenomeni localizzati. 3) Criteri di sistemazioni montana: sistemazioni di versante; sistemazioni dei torrenti (protezione longitudinale delle sponde, regolazione dei profili con opere trasversali); effetti sul regime idrografico di valle. 4) Criteri di sistemazione fluviale: difese spondali e arginature; modificazioni del profilo longitudinale a mezzo di opere trasversali; effetti a scala di bacino e sui corpi idrici recipienti. 5) Sistemi di controllo dei fenomeni localizzati, di difesa delle opere di asservimento e di protezione delle opere di utilizzazione.

#### *Esercitazioni*

Vengono svolti studi di fattibilità e progetti di massima di alcuni dei sistemi idrici trattati nei capitoli del programma.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale sulla materia svolta nel corso delle lezioni e delle esercitazioni.

#### *Libri consigliati*

R.K. Linsley, J.B. Franzini, D.L. Feryberg, G. Tchobanoglous: *Water resources engineering*, 4.th edition, McGraw-Hill, New York, 1992.

R. Rosso: *Effetto serra: istruzioni per l'uso* - Progetto Leonardo, Bologna, 1994

*Libri consigliati per approfondimenti*

- G. Benini: *Sistemazioni Idraulico - Forestali* - CLEUP, Padova, 1985.  
G. Frega: *Lezioni di acquedotti e fognature* - Liguori, Napoli, 1984  
M.M. Grishin (ed.): *Hydraulic Structures* - Voli. I e II. Mir Publishers, Mosca, 1982.  
L.B. Leopold: *L'acqua* - Zanichelli, Bologna, 1978.  
E. Marchi, A. Rubatta: *Meccanica dei fluidi: principi ed applicazioni di idraulica* - UTET, Torino, 1981.  
A. Paoletti (a cura di): *Sistemi di drenaggio urbano* - Dip. di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento, Politecnico di Milano, Milano, 1993.  
R. Rosso, A. Peano, I. Becchi, G. Bemporad (a cura di): *Advances in distributed hydrology* - Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colo., 1994  
G. Supino: *Le reti idrauliche* - Patron, Bologna, 1965.

**INGEGNERIA CHIMICA AMBIENTALE****AF0101****Prof. Paolo CENTOLA***Programma d'esame*

Sorgenti di inquinamento nell'industria chimica.

Parametri deH'inquinamento delle acque. COD (chemical oxygen demand), BOD (biological oxygen demand), TOC (total organic carbon), SS (suspended solids), VSS (volatile suspended solids).

Parametri dell'inquinamento dell'aria. SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC (hydrocarbons), CO, polveri.

Parametri dell'inquinamento dei rifiuti solidi. Metalli pesanti, organici clorurati.

Operazioni unitarie nei processi di trattamento delle acque. Equalizzazione dei flussi, grigliatura, sedimentazione, flocculazione, precipitazione chimica, trattamenti biologici (aerobici ed anaerobici), trattamento fanghi.

Operazioni unitarie nei processi di trattamento dell'aria. Lavaggio, precipitatori elettrostatici, cicloni, trattamenti chimici.

Operazioni unitarie nei processi di trattamento dei rifiuti solidi. Condizionamento, stabilizzazione, discarica, termodistruzione, pirolisi.

Problematiche ambientali nell'industria chimica. Strategie per la modifica di processo e per la scelta delle operazioni unitarie in situazioni particolari e significative. Produzioni dell'industria inorganica: cloro-soda, urea. Produzioni dell'industria organica: metanolo, formaldeide, acetaldeide, acrilonitrile, etilbenzene, stirene, anidride ftalica, anidride maleica, fenolo. Le sorgenti di inquinamento e le strategie di modifica saranno individuate e proposte per ogni processo.

Cenni ai disciplinari legislativi statali e regionali in merito alla tutela dell'acqua, dell'aria e del suolo. Valutazioni economiche sulle problematiche ambientali.

*Esercitazioni*

Sono previste durante il corso alcune visite guidate presso impianti che realizzano i processi descritti nel programma.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sulla materia del corso.

*Libri consigliati*

H.R. Jones: *Environmental control in organics and petrochemical industries*, ed. Noyes Data co..

M. Sitting: *Air pollution control*, ed. Noyes Data co..

Metcaf and Eddy Inc.: *Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse*, ed. McGraw-Hill book co..

Degremont (Soc. Gen. d'Ep. et d'Ass.): *Water treatment handbook*, ed. Stephen Austin and Sons ltd..

M.L. Davis, D.A. Comwell: *Introduction to environmental engineering*, ed. McGraw-Hill Int..

**INGEGNERIA DEI MATERIALI MACROMOLECOLARI****AF0020****Prof. Andrea PAVAN***Programma d'esame*

**1. Generalità.** Descrizione del ciclo tecnologico di un materiale. Analisi del sistema produzione-trasformazione-utilizzazione-recupero di un materiale; variabili di processo e variabili di prodotto. Finalizzazione del materiale.

**2. Fondamenti di scienza dei materiali macromolecolari.** Principi metodologici nello studio del comportamento dei materiali. Classificazione dei materiali in base alla struttura ed in base alle proprietà. Concetto integrale di proprietà ed equazioni costitutive. Modelli empirici, strutturali e analogici. Teoria dell'elasticità entropica dei polimeri. Reologia e viscoelasticità. Teoria della viscoelasticità lineare. Equazioni costitutive di tipo differenziale e di tipo integrale; funzioni di memoria; numero di Deborah. Termoviscoelasticità: teoria di equivalenza tempo-temperatura. Teoria del volume libero e viscoelasticità di volume. Proprietà meccaniche limiti dei materiali macromolecolari solidi: meccanismi e criteri di snervamento, meccanica della frattura viscoelastica lineare. Reologia e proprietà meccaniche limiti dei materiali macromolecolari fluidi. Diffusione. Fenomeni superficiali e adesione.

**3. Principi di ingegneria della trasformazione dei materiali macromolecolari.** Analisi termoreologica dei processi di flusso in stato stazionario ed in caso non-stazionario. Flussi isotermi e non-isotermi. Analisi termocinetica delle trasformazioni volumetriche dei materiali macromolecolari solidi e fluidi: equazioni di stato e fenomeni di invecchiamento fisico. Stabilità dimensionale micro e macroscopia (ritiro). Tensionamenti termici. Mescolazione e dispersione. Attivazione delle superfici. Accoppiamento dei materiali. Materiali compositi.

**4. Principi di ingegneria delle applicazioni dei materiali macromolecolari.** Analisi della missione di un manufatto. Criteri di selezione del materiale. Definizione di resistenza di un materiale alle sollecitazioni meccaniche, termiche, chimiche ed ambientali. Caratterizzazione del materiale e metodi di misura delle proprietà. Criteri di progettazione, definizione di vita utile, e dimensionamento del manufatto. Prototipizzazione e collaudo del manufatto. Valutazione delle prestazioni e affidabilità.

**5. Principi di ingegneria dei materiali macromolecolari refusi.** Posizione del problema dei residui industriali e dei rifiuti solidi macromolecolari. Metodi di recupero di materiale (riciclaggio primario e secondario) e di recupero di energia.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni sono intese ad approfondire alcuni argomenti, attraverso l'applicazione esemplificativa dei principi esposti a lezione, ad alcuni problemi tipici (progettazione di un manufatto in materiale polimerico termoplastico, analisi dello sviluppo di calore in un elemento in gomma, programmazione del trattamento termico ottimale ai fini della stabilità dimensionale). Le esercitazioni

sono integrate da dimostrazioni pratiche di tecniche sperimentali per lo studio di proprietà dei materiali macromolecolari.

#### *Libri consigliati*

Conviene seguire gli appunti presi durante le lezioni. Per un eventuale approfondimento si consigliano i seguenti testi:

P.C. Powell, *Engineering with Polymers*, Chapman and Hall, London, 1983 (cap. 5, 6, 8, 9)

N.G. McCrum, C.P. Buckley, C.B. Bucknall, *Principles of Polymer Engineering*, Oxford University Press, New York, 1988.

S. Middleman, *Fundamentals of Polymer Processing*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1977

F.J. Lockett, *Engineering Design Basis for Plastics Products*, HMSO, 1981

J. Leidner, *Plastic Waste: Recovery of Economic Value*, M. Dekker AG, Basel, 1981.

## **INGEGNERIA DEL SOFTWARE**

**AG0089****Prof. Carlo GHEZZI**

#### *Programma d'esame*

### **1. Il ciclo di vita del software: aspetti economici, organizzativi e metodologici.**

1.1. Ciclo di vita tradizionale - fasi e attività: analisi dei requisiti; progettazione; realizzazione; collaudo; manutenzione.

1.2. Ripartizione dei costi di sviluppo del software.

1.3. Previsione dei costi di un progetto: fattori di costo; modelli analitici.

1.4. La manutenzione: tipologie e costi; modelli di stima dei costi.

1.5. Pianificazione e gestione del progetto: tecniche di schedulazione dei lavori; tecniche di pianificazione e controllo.

1.6. Modelli flessibili ed evolutivi di ciclo di vita: il modello a spirale; la prototipazione e il coinvolgimento dell'utente; tendenze moderne.

### **2. Specifica dei requisiti.**

2.1. Che cos'è la specifica dei requisiti

2.2. Struttura tipica di un documento per la specifica dei requisiti

2.3. Tipi di applicazioni (sequenziali, concorrenti, real-time) e relative problematiche.

2.4. Tipi di metodi di specifica

2.5. Il modello entità-relazioni (ER) per la specifica dei requisiti.

2.6.1 diagrammi di flusso dei dati (DFD).

2.7. Problemi di integrazione dei modelli ER e DFD.

2.8. Le reti di Petri e loro estensioni per la specifica di sistemi concorrenti e real-time

2.9. La logica temporale per la specifica di sistemi concorrenti e real-time.

2.10. Cenni a Z e LOTOS.

### **3. Progettazione.**

3.1. Criteri generali metodologici e metriche per la struttura del software.

3.2. Il principio di "information hiding": interfacce dei moduli e corpi dei moduli; criteri di "information hiding".

3.3. Pseudolinguaggio per la modularizzazione.

3.4. La progettazione "object-oriented".

3.5. Specifiche algebriche.

**4. Realizzazione: i linguaggi di programmazione.**

- 4.1. Ruolo dei linguaggi di programmazione nello sviluppo del software.
- 4.2. Relazioni tra i linguaggi e l'architettura: linguaggi tradizionali e linguaggi "non VonNeumann".
- 4.3. Semantica operativa dei linguaggi (il modello run-time): il concetto di legame; la gestione della memoria; il passaggio dei parametri.
- 4.4.1 tipi di dati: tipizzazione forte dei linguaggi; tipi di dati astratti; linguaggi "object-oriented"
- 4.5. Le strutture di controllo: strutture di controllo "in piccolo"; strutture di controllo "in grande"; sottoprogrammi; gestori di eccezioni; coroutines; unità concorrenti e cooperanti.
- 4.6. La programmazione "in grande".
- 4.7. Caratteristiche fondamentali della programmazione funzionale: il linguaggio SML.
- 4.8. Caratteristiche fondamentali della programmazione logica: il linguaggio Prolog.
- 4.9. La programmazione "Object-Oriented": i linguaggi C++ e Eiffel

**5. Il controllo della qualità.**

- 5.1. Aspetti generali
- 5.2. Tecniche sociali di controllo della qualità: "walkthroughs" e ispezioni.
- 5.3. Analisi statica dei programmi.
- 5.4. Testing: limiti; criteri; metodi.
- 5.5. Esecuzione simbolica
- 5.6. Verifica formale della correttezza: cenni.
- 5.7. Metriche.
- 5.8. Standard di qualità.
- 5.9. Metodologie di miglioramento del processo.

**6. Strumenti e ambienti per lo sviluppo del software.**

- 6.1.1 principali strumenti di supporto alle singole fasi dello sviluppo.
- 6.2. Il sistema UNIX come ambiente di sviluppo e suoi derivati.
- 6.3. Gli ambienti process-centered.

*Modalità d'esame*

L'esame è composto da due parti: una discussione del materiale illustrato a lezione e una presentazione di un progetto. La prima parte può essere svolta mediante una prova scritta; la seconda è sempre orale. Il progetto deve essere concordato con il docente e deve essere sviluppato a gruppi; il suo obiettivo è quello di riprodurre il modo industriale di sviluppo di un'applicazione e di fornire un'occasione per mettere in pratica i principi illustrati nelle lezioni. In sede d'esame, lo studente deve anche presentare due semplici esercizi che certifichino l'aver sperimentato con almeno due tra i linguaggi e gli strumenti di sviluppo del software che vengono illustrati nel corso.

*Libri consigliati*

Per la parte sui linguaggi di programmazione

C.Ghezzi, M.Jazayeri: *Programming Language Concepts*, J.Wiley & Sons, New York, NY, II Edizione, 1987 (traduzione italiana pubblicata da F.Angeli editore).

Per la progettazione e programmazione *object-oriented* e per un'introduzione ad Eiffel:

B. Meyer: *Object-Oriented Software Construction*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1989.

Per la parte sull'ingegneria del software:

C. Ghezzi, A.Fuggetta, A.Morzenti, S.Morasca, M.Pezzè: *Ingegneria del Software*, Mondadori Informatica, Milano, 1991.

oppure

C.Ghezzi, M.Jazayeri, D.Mandrioli: *Fundamentals of Software Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1991.

INGEGNERIA DEL TERRITORIO  
Prof. Secondo Francesco LUCCHINI

AJ0006

*Programma d'esame*

1-11 fenomeno urbanistico. Contenuti culturali, aspetti perativi e compiti dell'Ingegneria del territorio. Il processo urbanistico storico e l'evoluzione degli insediamenti umani. Il sistema territoriale cologico, insediativo e socio economico.

2 - La struttura Territoriale. Il clima e l'ambiente naturale: acqua, aria, suolo, patrimonio naturale e paesistico. La popolazione e l'ambiente antropico: insediamenti umani, patrimonio architettonico e culturale. Il territorio e le strutture produttive agricole, industriali, terziarie e dei servizi. Le infrastrutture territoriali, gli impianti urbanistici ed i servizi dell'ambiente.

3 - L'approccio ambientale. L'analisi territoriale e gli indicatori ecologici. L'indice di qualità ambientale. La valutazione delle potenzialità, degli impatti e dei rischi territoriali. Il sistema ambientale, del verde naturale ed attrezzato.

4 - Gli Strumenti Operativi. La ricerca urbanistica: sistemi e modelli. Gli indicatori fisici, demografici, sociali, economici e le zone territoriali. Le carte delle potenzialità finalizzate e la mappatura dei rischi. La normativa urbanistica e il territorio: piani e livelli di intervento.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni, come parte integrante del corso, saranno svolte in forma interdisciplinare con lo scopo di approfondire la conoscenza della realtà urbanistica territoriale attraverso l'applicazione delle indicazioni metodologiche fornite durante il corso.

*Modalità d'esame*

Per l'ammissione all'esame occorre la presentazione dell'elaborato svolto durante l'anno accademico almeno otto giorni prima dell'appello. L'esame comprende un colloquio sul programma svolto e la discussione dell'elaborato.

*Libri consigliati*

In considerazione della natura dei problemi dell'ingegneria del territorio, durante lo svolgimento del corso verranno indicati, per ciascun argomento del programma, i libri e le riviste di più facile consultazione. Per gli aspetti di carattere generale, si consiglia la consultazione delle seguenti opere:

G. Chiodi - *La città moderna*, Giuffrè, Milano. 1945

AA. VV. - *Manuale dell'Architetto*, CNR, Roma. 1962

L. Dodi - *Città e territorio*, Masson, Milano. 1978

V. Columbo - *La ricerca urbanistica*, Giuffrè, Milano. 1979

E. Mandolesi, A. Cau - *Edilizia per l'agricoltura*, UTET, 1979

AA. VV. - *Manuale delle opere di urbanizzazione*, F. Angeli, Milano. 1983

A. Mercandino, G. Albori, V. Fuggini - *La formazione dei piani territoriali*, Marsilio. 1984

C. Beguinot - *La città cablata: un'enciclopedia*, Giannini Napoli 1989.

S. Gervasoni - *Discariche controllate*, Hoepli, 1991.

A. Poletti - *Elementi di valutazione di impatto ambientale*, Collegio Ingegneri, Como, 1991.

S.F. Lucchini - *Ambiente e pianificazione urbanistica*, CUSL, Milano, 2<sup>a</sup> ed. 1991.

S.F. Lucchini - *Territorio e normativa urbanistica*, collaborazione di G. Albori e A. Colombo, CUSL, Milano, 1992

Zeppetella, Brezzo, Gamba - *Valutazione ambientale e processi di decisione*, La Nuova Italia, Roma 1992.

- Papa, Fossa, Silveri - *La decisione ambientale: due regioni a confronto*, DI.P.I.S.T., Napoli 1992  
 S.F. Lucchini - *Tecniche di ricerca*, CUSL, Milano, 3<sup>a</sup> ed. 1992  
 S.F. Lucchini - *Territorio, risorse idriche, rifiuti solidi*, collaborazione di L. Conati e P. Pileri, CUSL, Milano 1993.  
 G. Colombo, F. Pagano, M. Rossetti - *Manuale di urbanistica*, Pirola, Milano. 1993  
 S.F. Lucchini - *Il Ruolo delle FNM nelle dinamiche territoriali lombarde*, collaborazione P. Pileri, Masson, Milano 1995

## INGEGNERIA DELLA CONOSCENZA E SISTEMI ESPERTI

### Prof. Marco COLOMBETTI

AG0254

#### *Programma d'esame*

#### **1. Elaborazione simbolica.**

**1.1** Concetto di espressione simbolica. Struttura ricorsiva delle espressioni simboliche. Struttura astratta, rappresentazione esterna e rappresentazione interna. Simboli, atomi e liste. Algoritmi funzionali su liste.

**1.2** Il linguaggio LISP. Programmazione simbolica in LISP. Ricorsione e iterazione. Pattern matching e unificazione.

**1.3** I sistemi di produzioni. Architettura e strategie di controllo. Tecniche di programmazione mediante produzioni. Elaborazione opportunistica e guidata da obiettivi.

#### **2. Rappresentazione della conoscenza e sistemi esperti.**

**2.1** Conoscenze e rappresentazione delle conoscenze. Principali metodi rappresentativi: regole attributo/valore, reti semantiche, frame. Gerarchie ed eredità.

**2.2** I sistemi esperti. Architetture, metodologie di progetto, acquisizione delle conoscenze, ambienti di sviluppo.

#### **3. Apprendimento automatico.**

Metodi simbolici e non simbolici per l'apprendimento automatico. Reti neurali. Classificatori e algoritmi genetici. \*

#### **4. Ingegneria del comportamento.**

Lo sviluppo di agenti autonomi. Architettura e sistemi di controllo. Ruolo dell'apprendimento automatico. Tecniche di addestramento. Misura della performance. Tecniche sperimentali in mondi simulati e nel mondo fisico.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni sono volte all'approfondimento e all'ampliamento degli argomenti svolti a lezione.

#### *Modalità d'esame*

L'allievo potrà scegliere fra due modalità di esame. La prima modalità prevede una prova scritta della durata di tre ore e la sua discussione. La seconda prevede l'esecuzione di un progetto assegnato dal docente, della durata orientativa di due-tre mesi, e un colloquio integrativo sul programma del corso.

#### *Testi consigliati*

A. Bonarini. *Rappresentazione della conoscenza*. Editore da stabilire.

M. Colombetti. *Elaborazione simbolica*. Esculapio, Bologna, 1995.

V. Maniezzo. *Algoritmi di apprendimento automatico*. Esculapio, Bologna, 1993.

P. Winston, B. Hom. *Lisp*, 3rd edition, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.

**INGEGNERIA E TECNOLOGIE DEI SISTEMI DI CONTROLLO (1/2 annualità) 000877**  
**Prof. GianAntonio MAGNANI***Programma d'esame*

1. Funzioni di un sistema di controllo di processo. Regolazione e automazione. Supervisione. Sicurezza.
2. Strumentazione per il controllo e la regolazione automatica dei processi continui.
  - 2.1 Valvole di regolazione ed altri attuatori. Descrizione funzionale e proprietà dinamiche. Criteri di progetto e scelta.
  - 2.2 La misura delle principali grandezze fisiche di processo. Descrizione funzionale e proprietà dinamiche dei principali sensori di impiego industriale. Criteri di progetto e scelta.
  - 2.3 Trasmissione, condizionamento e conversione A/D e D/A dei segnali forniti dai sensori e di comando agli attuatori. Ingressi analogici e digitali, uscite analogiche e digitali.
  - 2.4 I regolatori industriali standard. Classificazione. Esempi. Descrizione funzionale. Leggi di controllo. Autotaratura ad anello aperto e chiuso. Criteri di scelta e di taratura in funzione delle caratteristiche del processo. Interfacce verso l'operatore ed il processo. Regolatori basati sulla logica fuzzy (cenni).
  - 2.5 Strutture di controllo tipiche delle applicazioni industriali: cascata, rapporto, predittore di Smith, controllo predittivo basato su modello (cenni).
  - 2.6 Strutture di comunicazione e bus di campo. Sistemi di controllo distribuito (DCS) per la supervisione, la regolazione automatica e l'automazione di processi industriali continui e discontinui. Architetture funzionali e realizzative.
  - 2.7 L'automazione dei processi discontinui e delle operazioni in sequenza. Descrizione del problema. Controllori logici programmabili (PLC). Caratteristiche principali. Metodi di specifica, programmazione e progetto.
3. Progetto funzionale di un sistema di controllo. Metodologie di approccio, specifica e documentazione. Normative e procedure.

*Esercitazioni*

Verrà illustrato compiutamente un caso reale di automazione e controllo di un processo industriale. Verranno svolte esercitazioni individuali di studio mediante simulazione al calcolatore di problematiche di controllo industriale.

*Modalità d'esame*

Per quegli studenti che avessero seguito anche il corso di Robotica industriale è prevista una prova d'esame coordinata tra i due corsi.

*Libri consigliati*

G. Magnani: *Introduzione ai controlli industriali*, Appunti, 1996

*Testi di consultazione*

C.L. Albert, D.A. Coggan: *Fundamentals of Industrial Control*, Instrument Society of America, 1992

A. Brunelli: *Strumentazione di misura e controllo nelle applicazioni industriali*, Voi. 1 e 2, EMIT

**INGEGNERIA SANITARIA-AMBIENTALE (A)**  
**Prof. Eugenio DE FRAJA FRANGIPANE****AW0100***Programma d'esame*

**1. GENERALITÀ\***. L'igiene e la tecnica - L'ingegneria ambientale: l'aria, l'acqua, il suolo.

**2. LE ACQUE DI APPROVVIGIONAMENTO**. Il ciclo dell'acqua. Acque meteoriche. Acque superficiali. Acque di falda e profonde - Caratteristiche delle acque naturali. Acque aggressive. Acque incrostanti. Acque torbide. Requisiti delle acque di approvvigionamento. Acque per uso potabile. Acque per usi industriali. Acque per usi agricoli.

**3. LE ACQUE DI RIFIUTO**. Caratteristiche delle acque di rifiuto. Acque di rifiuto di origine domestica. Acque di rifiuto di origine industriale. Acque di rifiuto di origine agricola - Fenomeni di inquinamento dei recipienti idrici. Caratteristiche dei vari recipienti idrici nei riguardi dei fenomeni di inquinamento: corsi d'acqua superficiali; bacini a debole ricambio; acque di falda; mare. Inquinamento da sostanze organiche. Il ciclo della sostanza organica. La richiesta biochimica di ossigeno. Il bilancio dell'ossigeno. Autodepurazione. Inquinamento da sostanze organiche. Fenomeni di tossicità. Fenomeni di accumulo. Inquinamento batterico. Inquinamento termico - Limiti di ammissibilità - Legislazione per la protezione delle acque contro l'inquinamento - Analisi delle acque di rifiuto.

**4. INQUINAMENTO ATMOSFERICO - TRATTAMENTI E SMALTIMENTO DEGLI SCARICHI GASSOSI. Definizione del problema - Cause ed effetti** - Fonti di inquinamento: riscaldamento domestico - Fonti di inquinamento: traffico motorizzato - Fonti di inquinamento: industrie - Effetti sull'uomo - Effetti sulla vegetazione - Effetti sui materiali - **Strumentazione e campionamento** - Campionamento e metodi di analisi di composti gassosi - Campionamento e metodi di analisi di composti particolari - Automazione e telecontrollo dei rilevamenti - Campionamento di fumi e gas - **Aspetti meteorologici** - Lineamenti di meteorologia e climatologia - Dispersione nell'atmosfera - Correlazione tra condizioni meteorologiche ed inquinamento atmosferico - Chimica dell'atmosfera - Reazioni fotochimiche - Reazioni primarie e secondarie nell'atmosfera - **Mezzi tecnologici di intervento** - Interventi nel settore del riscaldamento domestico - Interventi nel settore del traffico motorizzato - Interventi nel settore industriale. Depurazione dei gas. Depurazione di materiali particolari. Depurazione degli odori. Dispersione attraverso camini - Legislazione attuale.

**5. TRATTAMENTI E SMALTIMENTO DEI RIFIUTI SOLIDI. Impostazione del problema** - **Conferimento** - **Raccolta** - **Allontanamento** - Sistemi di conferimento; **Caratteristiche** - Evoluzione delle quantità - Evoluzione delle caratteristiche qualitative - **Smaltimento** - La discarica controllata. Criteri di scelta e di progetto. Tecniche di impianto. Modalità di conduzione. Problemi di gestione e di manutenzione - Incenerimento. Depurazione dei gas e fumi di scarico. Costi di costruzione e di esercizio. - Trattamenti con recupero. Configurazione degli impianti a recupero. Impianti misti. Recupero di materiali riutilizzabili. Trasformazione in compost. Utilizzazione agricola del compost. Costi di costruzione e di gestione - **Problemi speciali** - Contenitori a perdere - Rifiuti solidi industriali - Fanghi degli impianti di depurazione delle acque di rifiuto - Legislazione attuale.

*Esercitazioni*

Il Corso prevede una serie di esercitazioni, visite tecniche, conferenze, seminari, sugli argomenti del programma di insegnamento.

*Libri consigliati*

Dispense; per gli argomenti per i quali le dispense non saranno disponibili, e per l'approfondimento di argomenti particolari, sarà fornita una lista di segnalazioni bibliografiche.

**INGEGNERIA SANITARIA-AMBIENTALE (B)****AI0002****Prof. Alberto ROZZI***Programma d'esame***1. Generalità.**

Introduzione ai fenomeni di inquinamento ambientale ed alle relative cause.

**2. Caratterizzazione dell'ambiente e dell'inquinamento.**

L'idrosfera. Il ciclo dell'acqua. Il ciclo del carbonio. I cicli dell'azoto, del fosforo e dello zolfo. Fenomeni di inquinamento delle acque superficiali (fiumi e laghi), delle acque marine e di quelle sotterranee. L'atmosfera. Il ciclo dell'anidride carbonica. Fenomeni di inquinamento atmosferico dovuti ai processi di combustione. Effetto Serra. Caratterizzazione degli inquinanti gassosi e quantificazione delle emissioni. Microinquinanti atmosferici e relativi effetti sulla salute. La risorsa suolo. Fenomeni di degradazione del suolo. Caratterizzazione dei rifiuti solidi urbani ed industriali e relativi effetti inquinanti. Cenni sui processi di smaltimento con e senza recupero di sottoprodotti. Inquinamento da rumore. Richiami di acustica. Cenni sugli effetti dell'inquinamento a rumore.

**3. Elementi di chimica applicata all'Ingegneria Sanitaria-Ambientale.**

Richiami di chimica generale e di chimica fisica applicate all'ingegneria sanitaria-ambientale equilibri dei sistemi liquido/gas e liquido/solido; equilibri nelle soluzioni; reazioni di ossido-riduzione; elettrochimica. Elementi di chimica organica: composti alifatici, aromatici, eterociclici; sostanze alimentari (carboidrati, protidi e lipidi); detergenti, pesticidi e materie plastiche.

**4. Reattori chimici e biologici.**

Modelli cinetici per sistemi chimici e biologici. Reattori ideali a miscelazione completa e con flusso a pistone. Reattori reali. La distribuzione dei tempi di residenza. Determinazione delle caratteristiche idrodinamiche con traccianti. Macrofluidi e microfluidi. Esempi di applicazioni di reattori all'ingegneria sanitaria-ambientale.

**5. Fenomeni di trasporto applicati all'Ingegneria Sanitaria-Ambientale.**

Richiami sul trasferimento di energia e di massa. Fenomeni di trasporto applicati all'ingegneria sanitaria-ambientale (trasporto e diffusione di inquinanti nell'atmosfera e nell'acqua, sedimentazione, ossigenazione di soluzioni).

**6. Rilevazione dei dati ambientali.**

Metodi analitici manuali e strumentali per le acque inquinate; metodi analitici per i gas e per l'aria; analisi dei rifiuti solidi.

*Esercitazioni*

Nelle esercitazioni verranno sviluppati complementi alle lezioni ed esercizi. Sono previste visite tecniche presso impianti di depurazione.

*Libri consigliati*

Dispense e materiale bibliografico distribuito durante il corso.

C.L. Sawyer e P.L. McCarty: *Chemistry for environmental Engineering*, McGraw-Hill, New York.

A. Misiti: *Fondamenti di ingegneria ambientale*, La Nuova Italia Scientifica, Roma.

**INGEGNERIA SANITARIA-AMBIENTALE II****AI0009****Prof. Paolo BERBENNI***Programma d'esame*

**1. Caratteristiche dei rifiuti solidi** - Classificazione dei rifiuti solidi: urbani, assimilabili, speciali, tossici e nocivi. Qualità dei rifiuti solidi urbani e metodiche analitiche. Produzione di rifiuti solidi e modelli previsionali.

**2. Conferimento, raccolta e trasporto** - Sistemi e tecnologie applicative. Modelli matematici di localizzazione degli impianti. Ottimizzazione delle reti di raccolta e trasporto.

**3. Smaltimento sul terreno** - Schemi di processo e tipologie degli impianti di scarico controllato. Criteri di individuazione delle aree e valutazione di idoneità (aspetti idrologici, geotecnici, pianificatori, etc.). Tecniche di approntamento strutturale dei siti. Degradazione anaerobica dei rifiuti. Cinetica della produzione di biogas e sistemi di recupero energetico. Modelli idrologici di produzione del percolato. Qualità e trattamento del percolato. Criteri progettuali e dimensionamento delle unità operative. Pretrattamenti per triturazione e compattazione.

**4. Sistemi di trattamento termico** - Teoria della combustione. Tipologie di camere di combustione. Cicli termici e recupero energetico (vapore e/o energia elettrica). Tipologia di impianti di recupero (a contropressione, a condensazione, a derivazione e condensazione). Caratterizzazione e controllo dei residui solidi e degli effluenti gassosi. Criteri progettuali e dimensionamento delle unità operative. Processo di pirolisi. Cenni alle tecnologie realizzative.

**5. Sistemi di recupero e riciclaggio** - Tecnologia del recupero a monte mediante raccolta differenziata. Schemi di processo e tipologie impiantistiche del recupero a valle. Descrizione e dimensionamento delle unità operative di selezione automatica. Selezione a secco e ad umido. Processo e tecnologie per la trasformazione in compost. Reparti satellite per la lavorazione dei prodotti di recupero grezzi. Produzione di combustibile solido dai rifiuti (RDF, Refuse Derived Fuel). Quantità, qualità e possibilità di utilizzo dei prodotti di recupero. Criteri di progettazione degli impianti. Ottimizzazione di processo in funzione del mercato e del bacino territorialmente servito.

**6. Problematica dello smaltimento dei rifiuti industriali** - Giacimenti controllati, Innocuizzazione, Trattamenti termici, Trattamenti biologici, Recupero di risorse. Borsa dei rifiuti. Smaltimento combinato di rifiuti solidi urbani ed industriali.

**7. Impatto ambientale** - Valutazione dell'impatto ambientale EIA (Environmental Impact Assessment), relativa ai sistemi di smaltimento dei rifiuti solidi. "Screening" degli impatti potenziali. Definizione dei bersagli potenziali. Compatibilità con vincoli esistenti. Criteri di contenimento degli impatti negativi. Matrici degli impatti. Metodo di Leopold. Modelli di Bilancio di Impatto Ambientale.

**8. Costi** - Impiego di addetti per i diversi sistemi di smaltimento. Consumi e recuperi di energia e materiali. Costi di esercizio. Valutazione computometrica dei costi di impianto. Analisi economica, con il criterio del flusso di cassa scontato (DCF) e del risultato economico attualizzato (REA). Analisi di sensibilità.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni, che costituiscono parte integrale del corso riguarderanno l'applicazione calcolistica dei criteri progettuali e di dimensionamento e nello sviluppo applicativo dei modelli matematici. Sono previsti seminari e conferenze di operatori esterni al Politecnico e visite di studio presso impianti e centri di Ricerca del settore.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

L'elaborazione di eventuali tesine verrà adeguatamente considerata nella valutazione finale.

*Libri consigliati*

L. Bonomo (a cura di): *Smaltimento dei rifiuti speciali (tossici e nocivi) di origine industriale ed urbana. Attualità e prospettive*, Atti 4 corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria (1994).

U. Ghezzi, M. Giugliano (a cura di): *Tecnologie dell'incenerimento dei rifiuti e del controllo delle emissioni*, (1993).

Durante il Corso saranno inoltre distribuite agli studenti dispense integrative e copie dei lucidi proiettati a lezione con la lavagna luminosa.

*Libri consultabili presso la Biblioteca dell'Istituto di Ingegneria Sanitaria*

Wilson D.G.: *Handbook of solid waste management*; Ed. Van Nostrand Reinhold Company.

Mantell C.L.: *Solid Wastes: origin, collection, processing and disposal*; Ed. John Wiley & Sons.

Pojasek R.B.: *Toxic and hazardous waste disposal*; Ed. Ann Arbor Science.

Aghtm: *Les residus urbains; collecte, traitement, nettoiement*; Ed. IPE, Paris.

**INSTABILITÀ\* DELLE STRUTTURE****AN0039****Prof. Carlo POGGI***Programma d'esame***1.0 Sistemi discreti**

Stazionarietà e minimo dell'energia potenziale totale

Teoria del secondo ordine

Il carico critico Euleriano

Il metodo energetico

Il metodo statico

**2.0 Instabilità flessionale di aste compresse**

Energia potenziale totale di travi pressoinflesse - teoria del secondo ordine.

Il carico critico di aste compresse

Aste uniformemente compresse di sezione costante

Aste vincolate elasticamente

Aste di sezione variabile o soggette a carichi distribuiti

**3.0 Instabilità flesso-torsionale di profili aperti in parete sottile**

Il problema della torsione in profili aperti in parete sottile.

Richiami della teoria di De Saint Venant - approcci agli sforzi ed agli spostamenti

La funzione di ingobbamento

Il centro di torsione ed il centro di taglio

**3.1 La torsione non-uniforme**

La rigidità torsionale in profili aperti in parete sottile

L'equazione della torsione

Esempi di soluzione

La teoria delle aree settoriali

Il modello cinematico - le relazioni statiche - le condizioni di equilibrio - il legame elastico

La trave a C

### 3.2 Instabilità flesso-torsionale di travi di sezione aperta e parete sottile

Energia di deformazione flesso-torsionale

Aste compresse- sezioni doppiamente simmetriche

Interazione tra flessione e torsione

Instabilità laterale di travi inflesse in un piano di simmetria

### 4.0 Instabilità di elementi bidimensionali piani

La teoria delle lastre piane

Il modello cinematico - forze e sforzi generalizzati - le condizioni di equilibrio

#### 4.1 La formulazione di Kirchhoff per il problema flessionale

La piastra rettangolare - la piastra assialsimmetrica

Il legame elastico per la piastra omogenea ed isotropa

Il problema elastico per la piastra alla Kirchhoff

Esempi di soluzione

#### 4.2 La formulazione di Von Karman per spostamenti moderatamente grandi

Ipotesi cinematiche - le equazioni di equilibrio per piastre elastiche omogenee ed isotrope

L'influenza delle azioni membranali

#### 4.3 Instabilità di lastre piane

Lastre semplicemente appoggiate uniformemente compresse o soggette ad azione tagliente

### 5.0 Il metodo di Rayleigh-Ritz

I criteri di convergenza

Applicazioni a - travi inflesse

- torsione di profili aperti in parete sottile

- piastre inflesse

Calcolo del carico critico Euleriano - procedimenti di discretizzazione

### 6.0 Il collasso per instabilità

#### 6.1 Influenza del comportamento post-critico

#### 6.2 Aste compresse

Curve di stabilità teorica

Effetti delle nonlinearità del comportamento sul carico critico

Effetti delle imperfezioni sulla capacità portante di aste compresse

Comportamento elastico di un'asta imperfetta

Limite elastico e collasso

Influenza della redistribuzione degli sforzi sulla sezione

Effetti delle autotensioni

Curve di stabilità per aste reali

#### 6.3 Aste presso-inflesse

Comportamento elastico

Capacità portante

#### 6.4 Risorse post-critiche di lastre caricate nel proprio piano

### 7.0 Problemi non Euleriani

#### 7.1 Sistemi conservativi nonlineari in fase pre-critica

Influenza delle nonlinearità precritiche sul fenomeno di instabilità

#### 7.2 Stabilità dei telai

Telai piani simmetrici e simmetricamente caricati

Carico critico di telai non controventati

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale e dell'eventuale discussione di un elaborato facoltativo assegnato durante lo svolgimento del corso. E' inoltre facoltativa la presentazione dello svolgimento di esercizi proposti durante il corso delle esercitazioni.

*Libri consigliati*

- L. Corradi, *Meccanica delle Strutture* - Voi. 1-2-3 - McGraw-Hill Italia, Milano, 1994.
- Z. Bazant, L. Cedolin, *Stability of Structures- Elastic, inelastic, fracture and damage theories*, Oxford University Press, New York, 1991.
- M. Pignataro, N. Rizzi, A. Luongo, *Stabilità, biforcazione e comportamento postcritico delle strutture elastiche*, ESA Editrice - Roma, 1983.
- S.P. Timoshenko, Gere J.M., *Theory of elastic stability*, McGraw-Hill, New York, 1961.

**INTELLIGENZA ARTIFICIALE****AG0209****Prof. Marco SOMALVICO***Programma d'esame***PARTE A. FONDAMENTI LOGICI DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE.****1. Introduzione.**

Rappresentazione della conoscenza e modelli cognitivi qualitativi; aspetti gnoseologici ed epistemologici.

**2. Rappresentazione della conoscenza.**

Concettualizzazione; il linguaggio logico; il calcolo dei predicati di primo ordine; i linguaggi logici derivati; la metaconoscenza ed i metateoremi; conoscenza sfumata.

**3. Procedure inferenziali.**

Il metodo di risoluzione; l'algoritmo di unificazione; le strategie di controllo.

**4. Metodi di Ricerca.**

L'approccio dello spazio degli stati; l'approccio della riduzione a sottoproblemi; il ruolo dell'informazione euristica.

**PARTE B.****1. Tecniche di ragionamento.**

Ragionamento basato sulla conoscenza e sulla metaconoscenza; ragionamento basato su modelli qualitativi; ragionamento non monotono.

**2. Tecniche di apprendimento.**

Apprendimento mediante memorizzazione; apprendimento mediante analogia; apprendimento basato sulla giustificazione.

**3. Tecniche di mantenimento e di propagazione.**

Tecniche di mantenimento automatico della verità; tecniche di mantenimento delle assunzioni; tecniche di propagazione dei vincoli.

**4. Aree di applicazione.**

Sistemi di riconoscimento, la comprensione e la sintesi del linguaggio naturale parlato e scritto; sistemi di pianificazione; sistemi di percezione; sistemi di manipolazione; sistemi di insegnamento.

*Libri consigliati*

Dispense del corso a cura del docente del corso.

N. Nilsson, M. Genesereth, *Logicai Foundations of Artificial Intelligence*, Addison-Wesley, USA.

**INTERAZIONE FRA LE MACCHINE E L'AMBIENTE****AK0101****Prof. Stefano CONSONNI***Obiettivi del corso*

Il corso si propone di:

- 1) Descrivere la fenomenologia delle interazioni tra le macchine a fluido e l'ambiente.
- 2) Fornire una base metodologica per la valutazione di queste interazioni.
- 3) Analizzare in dettaglio i tipi di interazione di maggior interesse applicativo e normativo.

Problematiche di particolare interesse e attualità potranno essere approfondite con seminari tenuti da esperti dello specifico settore e da visite presso centri di ricerca e installazioni industriali.

*Programma d'esame***Tipologia e fenomenologia delle interazioni macchine-ambiente.**

**La Panoramica introduttiva.** Emissioni gassose, liquide e solide prodotte dai processi energetici; scarico di calore, rumore, fughe, interazioni elettromagnetiche e nucleari; effetti sull'uomo, sull'ambiente, sul clima e sui manufatti.

Valutazioni quantitative.

**1.b Inquinanti da combustione.** Richiami di combustione: temperatura di fiamma, equilibrio chimico, velocità di reazione; composizione gas combustibili; fiamme premiscelate, diffuse, laminari, turbolente; stabilità, infiammabilità. Inquinanti controllabili agendo sulla combustione:  $NO_x$ ,  $CO$ , incombusti, fuliggine; inquinanti dipendenti dalla natura del combustibile:  $SO_2$  e polveri. Strategie di riduzione: trattamento combustibile, variazione condizioni di combustione, trattamento fumi.

**1.c Smaltimento del calore.** Sistemi raffreddati ad aria, acqua, con torri evaporative. Considerazioni termodinamiche e tecnologiche ed economiche per cicli diretti ed inversi. Influenza sulle turbomacchine; rilevanza delle variazioni stagionali. Benefici e problematiche della cogenerazione,

**1.d Rumore.** Fondamenti teorici, Definizione e scale di misura. Previsione delle emissioni acustiche di impianti di potenza. Tecniche di rilevazione e metodologie di abbattimento,

**1.e Radioattività.** Struttura atomica e decadimento radioattivo; effetti biologici e genetici; unità di misura; protezioni.

**1.f Fughe di sostanze nocive.** Tenute di organi fissi e rotanti: principi di funzionamento, tecnologie, esemplificazioni pratiche.

**2. Problemi globali.** Peculiarità dei problemi globali. Effetto Serra: fenomenologia, rilevazioni empiriche e previsioni teoriche; possibili strategie per la riduzione delle emissioni di  $CO_2$  combustibili sintetici, separazione per assorbimento fisico e chimico, metodi termodinamici, cicli rinnovabili a biomassa, energia nucleare, energie rinnovabili. Danneggiamento strato di ozono: fenomenologia, rilevazioni empiriche e trattati internazionali; sostituzione cloro-fluoro-carburi per l'industria frigorifera: influenza sul ciclo termodinamico, sulle turbomacchine e sugli scambiatori di calore; miscele azeotropiche e non.

**3. Centrali a vapore.** Emissione di maggior interesse applicativo e normativo. Tipologia e caratteristiche di generatori di vapore. Variazione condizioni di combustione: over-fire-air, clustering, reburning, ricircolo gas combustibili, iniezione sorbenti. Desolfurazione fumi: assorbimento chimico e fisico; processi a secco, a umido, rigenerativi e non, catalitici. Denitrificazione e depolverazione. Influenza del tipo e della disposizione del sistema di trattamento fumi sul ciclo e sulle prestazioni. Letti fluidi atmosferici, presurizzati, integrati con turbogas. Cessione del calore. Emissioni acustiche. Centrali nucleari: reattori termici e autofertilizzanti, scorie radioattive e loro smaltimento.

**4. Turbine a gas e cicli combinati.** Emissioni di maggior interesse applicativo e normativo per macchine industriali e aeronautiche; influenza del ciclo termodinamico, della geometria della ca-

mera di combustione, delle condizioni operative e ambientali, del tipo di combustibile. Fiamme premiscelate, combustione a stadi, iniezione acqua o vapore, ricircolo gas combusti. Riduttori e ossidatori catalitici: collocazione, impatto sulle prestazioni e sui costi. Filtri e silenziatori.

**5. Motori alternativi.** Emissioni di motori ad accensione comandata e Diesel. Influenza della geometria, delle variabili motoristiche, del tipo di combustibile, delle condizioni operative e ambientali. Riprogettazione ai fini della riduzione delle emissioni. Trattamento dei gas di scarico: reattori termici, reattori catalitici, trappole particolato. Normativa e strumentazione per la valutazione delle emissioni. Sistemi alternativi di propulsione per i trasporti. Combustibili alternativi. Silenziatori: sistemi attivi e passivi.

**6. Tecnologie innovative.** Sistemi integrati gasificazione-ciclo combinato: tecnologie di gasificazione, depurazione gas di sintesi, integrazione con ciclo a gas e a vapore. Celle a combustibile. Energie rinnovabili.

**7. Normativa nazionale ed internazionale.** Principi ispiratori della normativa. Qualità dell'aria e limiti di emissione. Fattori di conversione. Implicazioni del tipo di vincoli imposti dalla normativa. Confronti tra prestazioni tipiche e limiti normativi per le varie tecnologie. Confronti con normative estere. Valutazione di impatto ambientale: metodologia e normativa.

**8. Analisi di rischio ed aspetti economici.** Cenni di analisi di rischio: albero degli eventi, albero dei guasti, quantificazione del rischio, simulazioni; applicazioni alle tecnologie energetiche. Aspetti economici: inefficienze del libero mercato, imposizione fiscale, ottimizzazione dell'allocazione delle risorse ambientali.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni analizzano quantitativamente i temi di maggior interesse applicativo, per i quali è prevista la redazione di relazioni da parte di gruppi di allievi; lo svolgimento potrà richiedere l'utilizzo degli strumenti informatici del Dipartimento di Energetica. Argomenti attinenti al corso potranno costituire oggetto di tesi ed elaborati di laurea.

#### *Modalità d'esame*

L'esame è orale. La parte iniziale verterà su un argomento a scelta del candidato. Al momento dell'esame gli allievi sono tenuti a presentare gli elaborati sviluppati nelle esercitazioni.

#### *Libri consigliati*

Dispense distribuite o segnalate dal Docente. Per alcuni temi gli allievi potranno consultare testi disponibili presso la biblioteca del Dipartimento di Energetica, tra cui:

Beranek L., *Noise and Vibration Control*, McGraw-Hill, 1971.

Campbell I.M., *Energy and the Atmosphere*, John Wiley, 1986

Davis M.L. e Comwell D.A., *Introduction to Environmental Engineering*, McGraw-Hill, 1991.

Ghezzi U. e Ortolani C., *Combustione e Inquinamento*, Tamburini, 1974

Heywood J.B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, 1988.

Strauss W., *Air Pollution Control*, John Wiley, 1971.

Zamparo G., *Energia ed Inquinamento nell'Ecologia*, Tamburini, 1974.

## **ISTITUZIONI DI ECONOMIA**

**AQ0010**

(per gli allievi di Ingegneria Gestionale, Elettronica, Informatica)

**Proff. Salvatore BALDONE , Giacomo NARDOZZI**

### *Programma d'esame*

#### **1. Aspetti microeconomici dell'attività di produzione e scambio.**

1.1 La teoria della domanda.

1.2 La teoria della produzione.

1.3 I costi di produzione.

#### **2. Forme di mercato e teoria dell'impresa.**

2.1 L'equilibrio dell'impresa in concorrenza perfetta.

2.2 Il monopolio.

2.3 La discriminazione del prezzo.

2.4 L'equilibrio dell'impresa in concorrenza monopolistica.

2.5 L'oligopolio non collusivo.

2.6 La teoria del mark-up.

2.7 Prezzo ed impiego dei fattori in concorrenza perfetta.

2.8 Il mutamento tecnico.

#### **3. Aspetti macroeconomici dell'attività economica.**

3.1 Elementi di contabilità nazionale.

3.2 Lo schema aggregato keynesiano e la teoria della domanda effettiva.

3.3 Il consumo, l'investimento ed il mercato della moneta.

3.4 La determinazione del livello di equilibrio del reddito nazionale ed il controllo dell'attività economica nel breve periodo.

3.5 Problemi macroeconomici in un'economia aperta.

### *Libri consigliati*

Per i punti 1 e 2 si veda:

R.H. Frank, *Microeconomia*, McGraw-Hill, Milano, 1992.

Per il punto 3 si veda:

R. Dornbusch e S. Fisher, *Macroeconomia*, Il Mulino, Bologna, 1995.

### **N.B.**

E' richiesta la conoscenza della consistenza dei più importanti aggregati macroeconomici per l'Economia Italiana negli ultimi anni. I dati sono reperibili in:

STAT, *Annuario Statistico Italiano*, ultima edizione,

oppure:

ISTAT, *Compendio Statistico Italiano*, ultima edizione.

**LINGUAGGI E TRADUTTORI**  
**Prof. Stefano CRESPI REGHIZZI****AG0039***Programma d'esame*

Obiettivo del corso è lo studio dei metodi di progetto dei linguaggi artificiali per la comunicazione tra l'uomo e l'elaboratore: non solo i linguaggi di programmazione, ma anche quelli per il controllo dei robot o di altre macchine, per la descrizione dei documenti, ecc.

**I. Metodi sintattici.**

- Definizione sintattica dei linguaggi: Teoria dei linguaggi formali; Espressioni regolari; Grammatiche generative libere dal contesto; La classificazione di N. Chomsky; Grammatiche dei linguaggi regolari; Diagrammi sintattici; Principali strutture sintattiche.

- Analisi e riconoscimento delle fasi: Algoritmi e automi; Automi con memoria finita ed a pila; Automi deterministici; Analisi sintattica ascendente a spostamento e riduzione e a discesa ricorsiva; Trattamento degli errori sintattici.

- Traduzione sintattica: Funzioni e relazioni di traduzione; Omomorfismi e sostituzioni; Schemi sintattici di traduzione; Automi trasduttori; Analisi sintattica e traduzione.

**II. Metodi semantici.**

- Definizioni semantiche: Alberi sintattici astratti; Grammatiche ad attributi ed equazioni semantiche; Predicati semantici; Attributi sintetizzati ed ereditati; Dipendenze funzionali.

- Valutazione del significato: Calcolo degli attributi in una o più scansioni; Analisi sintattico-semantica combinata; Schemi di traduzione ad attributi; Principali strutture semantiche.

**III. Ingegneria dei compilatori e degli interpreti.**

- Ambienti di programmazione: compilatori, collegatori, interpreti, strumenti deH'ingegneria del software.

- Struttura dei compilatori: traduzione a più passate, rappresentazioni intermedie dei programmi, e tabelle dei simboli.

- La traduzione dei principali costrutti: dichiarazioni, espressioni, frasi di controllo, procedure..

- Gestione della memoria per le procedure e le strutture di dati.

- Struttura e progetto degli interpreti.

- Tecniche di trasporto dei compilatori.

- Ottimizzazione indipendente dalla macchina: le principali trasformazioni, equazioni di flusso.

- Generazione del codice e assegnazione dei registri.

*Esercitazioni*

Esercizi sulla sintassi e sulla semantica. Progetto di compilatori con l'uso di strumenti di CAD dei linguaggi. Illustrazione di un compilatore industriale.

*Modalità d'esame*

L'esame comprende una prova scritta (riguardante le parti I e II del programma) e una prova orale (sulla parte III). La prova scritta può essere sostituita dal progetto di un semplice compilatore.

*Libri consigliati*

S. Crespi-Reghizzi: *La sintassi dei linguaggi artificiali*, UTET Città Studi, 1996 (ed. provvisoria).

S. Crespi-Reghizzi: *Le grammatiche ad attributi - semantica dei linguaggi artificiali*, UTET Città Studi, Milano 1996.

S. Crespi-Reghizzi: *Compilatori, interpreti e tecniche di traduzione*, Masson, Milano 1990.

S. Parafcoschi e P.L. Sanpietro: *Esercizi di linguaggi e traduttori*, Città Studi, Milano, 1995.

**LOGISTICA INDUSTRIALE**  
**Prof. Remigio RUGGERI****AR0064***Programma d'esame***1. Il sistema logistico.**

La logistica come visione integrata del processo: approvvigionamenti; produzione; distribuzione; servizio post-vendita; recupero e riutilizzo degli imballaggi e dei prodotti dismessi. Ruolo della logistica nelle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto. La Reverse Logistics. La logistica dei sistemi riparabili (RAM Logistics cenni). Le attività di normazione in campo logistico (ISO, CEN, UNI).

**2. Il servizio al cliente.**

Evoluzione del concetto di "servizio al cliente". I tre livelli del servizio: operativo; supporto vendite; supporto marketing. Indicatori quantitativi e loro impiego. La misura della "qualità percepita del servizio". Posizionamento sulla matrice: costo-livello di servizio e scelte strategiche conseguenti.

**3. Le strutture fisiche di supporto alla logistica.**

a) **Imballaggio.** Esigenze, requisiti, normative degli imballi primari, secondari e terziari. Aspetti ecologici. Criteri di dimensionamento e ottimizzazione delle unità di carico.

b) **Movimentazione interna.** Tipologie dei mezzi e dei sistemi di material handling. Criteri di scelta e dimensionamento. Modellistica di supporto.

c) **Stoccaggio.** Funzioni, tipologie, aree operative del magazzino. Criteri di scelta e dimensionamento. Politiche di gestione operativa del magazzino. Modellistica e metodi quantitativi di supporto alla progettazione ed alla gestione. Protezione delle merci (incendi e furti).

d) **Picking.** Modalità di picking. Supporti tecnologici. Criteri di ottimizzazione.

e) **Trasporti esterni.** Modalità di resa delle merci. Tipologie, costi, criteri di scelta dei sistemi e dei mezzi di trasporto. Il trasporto intermodale. Spedizioni internazionali.

**4. Distribuzione.**

Canale commerciale e canale logistico. Le scorte del sistema distributivo. Politiche di allocazione e gestione delle scorte di prodotti finiti. Metodi di previsione della domanda commerciale. Il metodo DRP (Distribution Requirement Planning). Reti distributive (multilivello; Hub and Spoke; strutture miste). Piattaforme multifornitore/multicliente. Distribuzione europea. Criteri di allocazione dei depositi centrali e periferici (modelli strategici e metodi quantitativi di supporto alle decisioni). La pianificazione delle consegne locali (algoritmi di ottimizzazione). La terziarizzazione dei servizi logistici. La distribuzione dei beni di largo consumo: tipologie di canale e loro evoluzione; organizzazione delle superfici di vendita degli spazi espositivi. La tecnica DPP (Direct Product Profitability). Il metodo ECR (Efficient Consumer Response).

**5. Produzione.**

Interfaccia: produzione-sistema logistico. Sistemi integrati di produzione (richiami).

**6. Approvvigionamenti.**

Strategia degli acquisti. La matrice rischio cliente. Evoluzione dei rapporti con i fornitori: co-makership e partnership. Criteri quantitativi di valutazione/selezione dei fornitori: vendor rating. Certificazione ed autocertificazione dei fornitori.

**7. Il sistema informativo.**

I flussi informativi nel sistema logistico. L'identificazione automatica dei prodotti. Electronic Data Interchange (EDI).

**8. Il controllo del sistema logistico.**

Rilevazione e analisi dei costi logistici. La formulazione del budget. Il reporting. La misura ed il controllo della produttività. La pianificazione delle attività logistiche.

Benchmarking delle prestazioni e dei costi logistici.

**9. Organizzazione della struttura logistica.**

Aspetti strategici ed operativi. La collocazione della funzione "Logistica" nella organizzazione aziendale. L'intervento logistico per il miglioramento dell'efficienza aziendale. La logistica in ambiente JIT e TQC.

*Esercitazioni*

Oltre allo sviluppo di casi applicativi, verranno organizzate conferenze di relatori esterni e visite presso realizzazioni particolarmente significative.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale, preceduta da una prova scritta di carattere applicativo.

*Libri consigliati*

Dispense del corso. Bibliografia specifica citata nelle dispense e durante il corso.

*Bibliografia generale:*

- J.F. Robeson & R.G. House Editors: "*The Distribution Handbook*", MacMillan, London, 1985  
 M. Christopher: "*Logistics and Supply Chain Management*", Pitman, London, 1992  
 S. Makridakis, S.C. Wheelwright: "*Forecasting: Methods and Applications*", J. Wiley & Sons, N. Y., 1983  
 S. Bourgeois: "*La Guide de l'Entrepot*", Nathan Communication, Paris, 1988  
 M. McRobb: "*Purchasing and Quality*", M. Dekker, INC, New York, 1989  
 C. Ferrozzi, J. Hammond, D. Shapiro: "*Logistica & Strategia*", ISEDI, 1993  
 G. Merli: "*Comakership*", ISEDI, 1990  
 J. Cooper, M. Browne, M. Peters: "*European Logistics*", Blackwell Publishers, Oxford, 1993.

**MACCHINE****AK0030**

(Per gli allievi dei corsi di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Elettrotecnica, Informatica, dei Materiali).

**Prof. Stefano CONSONNI***Programma di esame*

- 1. Generalità sui processi nelle macchine.** Equazioni di conservazione. Equazione di Eulero. Proprietà termodinamiche dei fluidi. Trasformazioni e rappresentazioni termodinamiche. Definizioni di rendimento.
- 2. Generalità sulle macchine.** Classificazione. Parametri ed indici caratteristici. Triangoli delle velocità. Teoria della similitudine. Effetti scala, viscosi, di comprimibilità.
- 3. Macchine a fluido incomprimibile.** Turbine idrauliche e pompe: assiali, miste, radiali, volumetriche. Ventilatori. Scelta del tipo di macchina in funzione dei parametri operativi. Curve caratteristiche. Cavitazione. Circuiti idraulici: accoppiamento macchina-circuito, regolazione, considerazioni economiche ed energetiche.
- 4. Macchine a fluido comprimibile.** Rappresentazione e analisi termodinamica di processi di compressione e di espansione. Definizioni e significato di rendimento. Grandezze statiche e totali. Caratteristiche progettuali e operative di compressori assiali, misti, centrifughi e volumetrici. Caratteristiche

progettuali e operative di turbine assiali ad azione e a reazione; problematiche dell'impiego in centrali di produzione di elettricità o di cogenerazione. Curve caratteristiche e regolazione.

**5. Fonti e tecnologie per la produzione di energia.** Fonti rinnovabili e non rinnovabili impiegabili per la produzione di elettricità e calore. Riserve e consumi mondiali e nazionali. Evoluzione storica e prestazioni delle principali tecnologie impiegate per produzione di elettricità e calore. Aspetti economici e gestionali. Accumulo, trasmissione e distribuzione dell'energia.

**6. Cicli a vapore.** Caratteristiche tecnologiche e termodinamiche dei cicli Rankine a vapore. Sviluppo storico e tendenze attuali. Surriscaldamento, risurriscaldamento, spillamenti rigenerativi. Problematica della scelta delle pressioni di evaporazione e condensazione. Uso del diagramma di Mollier e calcolo del ciclo. Caratteristiche e peculiarità delle turbine a vapore. Cenni sull'architettura dei generatori di vapore e sui problemi di scambio termico. Problematiche legate alla fonte di energia primaria: combustibili fossili, energia nucleare, energia solare, residui. Cenni di teoria della combustione.

**7. Macchine frigorifere e pompe di calore.** Termodinamica del ciclo Rankine inverso. Fluidi di lavoro. Analisi delle prestazioni e dei componenti degli impianti.

**8. Turbine a gas.** Caratteristiche termodinamiche e tecnologiche del ciclo semplice. Sviluppo storico e tendenze attuali: applicazioni mobili e stazionarie. Scelta del rapporto di compressione. Importanza della temperatura di ingresso in turbina. Possibili variazioni del ciclo termodinamico: interrefrigerazione, ricombustione e rigenerazione.

**9. Cicli Combinati gas-vapore.** Fondamenti termodinamici. Configurazioni impiantistiche e prestazioni. Schemi complessi per l'utilizzo di combustibili di bassa qualità.

**10. Motori alternativi a combustione interna.** Caratteristiche e campi di impiego dei motori ad accensione comandata e Diesel. Schematizzazione del ciclo termodinamico.

**11. Cogenerazione.** Obiettivi e significatività della cogenerazione. Caratteristiche e campi di impiego delle tecnologie di cogenerazione: turbina a vapore, turbina a gas, motori alternativi, cicli combinati. Implicazioni tecnico-economiche e gestionali. Normativa e tariffe.

**12. Impatto ambientale.** Cenni sulle problematiche legate alla generazione di potenza meccanica con macchine a fluido: emissioni gassose, scarico di calore, rumore.

### *Esercitazioni*

Nelle esercitazioni saranno proposti una serie di problemi esemplificativi delle equazioni di conservazione e di utilizzi pratici delle macchine e dei sistemi di produzione di energia.

### *Modalità di esame*

L'esame consiste in una prova scritta e orale. Alla prova orale gli allievi sono tenuti a presentare gli elaborati sviluppati nelle esercitazioni.

Nel periodo di svolgimento delle lezioni si terranno due prove scritte sostitutive dell'esame, eventualmente integrabili (a scelta del candidato) da una prova conclusiva orale.

### *Testi consigliati*

E. Macchi: *Richiami di termofluidodinamica applicata alle macchine* - CLUP.

C. Casci: *Macchine a fluido incomprimibile* - Masson, Milano.

C. Casci: *Compressori di gas* - Masson, Milano.

C. Casci: *Macchine a fluido bifase* - Masson, Milano.

G. Lozza: *Turbine a Gas e Cicli Combinati* - Progetto Leonardo, Bologna, 1996.

M.M. El-Wakil: *Powerplant Technology* - McGraw-Hill, New York, 1984.

J. Weisman e L.E. Eckart: *Modern Power Plant Technology*, Prentice-Hall, New Jersey, 1985.

Testi aggiuntivi o alternativi potranno essere segnalati dal docente durante lo svolgimento delle lezioni; ugualmente dicasi per i testi delle esercitazioni.

**MACCHINE****AK0011**

(per allievi del Corso di Laurea in Ingegneria Chimica)

**Prof. Gustavo GIGLIOLI***Programma d'esame*

**1. Principi generali:** Richiami di termodinamica. Sistemi chiusi e sistemi a flusso. Funzioni di stato, principi della termodinamica. Fluidi di lavoro: liquidi e gas perfetti, gas reali, vapori, stati di aggregazione diversi; il principio degli stati corrispondenti. La conservazione dell'energia nei sistemi a flusso riferita a fluidi comprimibili e incompressibili; esplicitazioni degli effetti delle irreversibilità nella equazione di conservazione dell'energia.

**2. Macchine operatrici a fluido incompressibile.** Equazioni fondamentali dello scambio di lavoro fra fluido e macchine a flusso continuo: la relazione di Eulero. La similitudine idraulica e il numero di giri caratteristico. Motrici Idrauliche: La turbina Pelton, Francis e Kaplan; configurazione generale, numero di giri caratteristico, principi di regolazione e controllo, campi d'impiego, funzionamento in condizioni diverse da quelle di progetto; scelta delle motrici idrauliche. Installazione delle motrici idrauliche: altezza di aspirazione, funzione e rendimento del diffusore. La cavitazione nelle macchine idrauliche: aspetti fluidodinamici, termodinamici e tecnologici. Le pompe: generalità sulle pompe alternative; le pompe centrifughe: configurazione e funzionamento fluidodinamico; curve caratteristiche ideali e reali, funzionamento della pompa inserita in vari tipi di circuito, problemi di stabilità di funzionamento, problemi di cavitazione; generalità sulle pompe assiali.

**3. Macchine operatrici a fluido comprimibile.** La compressione degli aeriformi: compressione isoterma, isentropica, adiabatica irreversibile; rappresentazioni grafiche; il concetto di "controrecupero". I compressori centrifughi: generalità; caratteristiche operative e campi d'impiego; cenni di fluidodinamica interna della macchina. Problemi di numero di Mach critico; la similitudine fluidodinamica per le macchine a fluido comprimibile. I compressori assiali: triangoli di velocità, caratteristiche generali di funzionamento. Fenomeno dello stallo e del pompaggio nei compressori.

**4. Cicli termodinamici a fluido bifase, turbine a vapore e apparecchiature di scambio termico.** Il ciclo Rankine a vapor d'acqua: a vapor saturo, a surriscaldamento, a risurriscaldamento; influenza dei parametri fondamentali del ciclo su lavoro utile e rendimento; cicli rigenerativi. Le turbine a vapore: funzionamento delle motrici mono-stadio a salti di velocità, ad azione e a reazione nel caso ideale e reale. Problemi fluidodinamici particolari: l'ugello di De Laval. Turbine pluri-stadio: dimensionamento fluidodinamico e meccanico degli stadi ad alta, media e bassa pressione. Configurazione delle turbine in funzione della potenzialità. Limitazioni di potenza delle motrici a flusso singolo a causa delle grandi portate volumetriche allo scarico. Problemi strutturali: calcolo delle sollecitazioni nelle palettature dovute alle forze centrifughe e all'azione del fluido di lavoro. Principi di regolazione. I generatori di vapore: classificazione e calcolo del rendimento. I condensatori, i rigeneratori ed i degasatori: configurazione e problemi di dimensionamento. Scambio termico con correnti bifase: ebollizione statica e dinamica, flussi critici. Perdite di carico per correnti bifase.

**5. Macchine e cicli frigoriferi:** cenni descrittivi.

**6. Le turbine a gas.** Cicli di turbina a gas ideali e reali: semplici, a interrefrigerazione, a ricombustione, a rigenerazione. Influenze dei parametri fondamentali del ciclo su lavoro utile e rendimento. Problemi strutturali connessi con l'esercizio di componenti altamente sollecitati a temperature elevate. Prospettive per l'impiego di più elevate temperature di esercizio. Valutazione economica delle caratteristiche degli impianti di turbina a gas. Cenni sui cicli combinati a vapor d'acqua-turbina a gas.

### *Esercitazioni*

Il corso è corredato da esercitazioni consistenti in applicazioni numeriche relative allo studio di particolari macchine ed al loro inserimento in un impianto. L'ottenimento di un giudizio globalmente positivo consente all'allievo di sostenere direttamente l'esame orale. In caso contrario l'esame orale dovrà essere preceduto da una prova scritta.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale. Per gli allievi che non hanno conseguito un giudizio positivo nel corso delle esercitazioni l'esame orale deve essere preceduto da una prova scritta.

### *Libri consigliati*

- *Macchine Idrauliche. Appunti delle lezioni*, Masson.
- *Compressori di gas. Appunti alle lezioni*, Masson.
- C. Casci *Macchine a fluido bifase*, Masson.
- E. Macchi *Termodinamica applicata*, Ed. CLUP.

## **MACCHINE (I semestre)**

**AK0030**

Per gli allievi dei corsi di laurea in Ingegneria Meccanica (aut,bio,ene,pro,bas,mat)

**Prof. Gianfranco ANGELINO**

### *Programma d'esame*

**1. Principi generali.** Proprietà termodinamiche dei fluidi. Cenni sul calcolo delle proprietà termodinamiche. Il principio degli stati corrispondenti. Il principio di conservazione dell'energia nei sistemi aperti nel riferimento assoluto e relativo.

**2. Macchine idrauliche.** Energia idraulica, salto motore, perdite nelle condotte e rendimento idraulico delle macchine. La teoria della similitudine idraulica e il numero di giri caratteristico. La cavitazione nelle macchine idrauliche (pompe e turbine). Le turbine Pelton, Francis e Kaplan. Criteri di scelta delle turbine idrauliche. Le pompe centrifughe ed il loro inserimento nei circuiti idraulici. Cenni sulle pompe volumetriche.

**3. Compressori di gas.** Termodinamica della compressione dei gas e dei vapori. Effetti delle irreversibilità interne. Il compressore centrifugo: caratteristiche operative e dimensionamento di massima. Il compressore assiale. La teoria della similitudine idraulica adattata alle macchine a fluido comprimibile. Cenni sui compressori volumetrici.

**4. Macchine a vapore.** Cicli termodinamici e schemi d'impianto: a vapor saturo, a vapore surriscaldato, a surriscaldamenti ripetuti. Preriscaldamento rigenerativo dell'acqua. Uso del diagramma di Mollier e delle tavole del vapor d'acqua. Teoria dell'ugello di De Laval. Turbine assiali ad azione; turbine a reazione. Comportamento ideale e analisi delle perdite. Influenza del titolo del vapore sulle caratteristiche dell'espansore. Turbine a salti di velocità e a salti di pressione. Turbine multistadio e configurazione generale delle turbine in funzione del livello di potenza dell'impianto. Aspetti costruttivi delle turbine e problemi di materiali. Cenni sulle turbine radiali. I generatori di vapore: classificazione, principi di funzionamento, calcolo delle perdite, problemi di scambio termico. I condensatori ed i rigeneratori.

**5. Pompe di calore e macchine frigorifere.** Termodinamica del ciclo di Rankine inverso (frigorifero). Fluidi di lavoro organici e macchine ad essi destinate. La pompa di calore.

**6. Turbine a gas.** Termodinamica del ciclo di potenza: semplice; inter-refrigerazione; a ricombustione; a rigenerazione. L'influenza della temperatura massima del ciclo. Problemi meccanici e

problemi di materiali. La refrigerazione delle palette. Generalità sui cicli chiusi. Termodinamica del ciclo del turboreattore. La turbina aeronautica. Cicli combinati turbina a gas - turbina a vapore: ottimizzazione termodinamica; cicli a più livelli di pressione. Turbine a gas a iniezione di vapore. Combustibili naturali e sintetici per turbine a gas.

**7. Motori alternativi a combustione interna.** Termodinamica dei cicli. Rendimenti e potenze specifiche. Caratteristiche d'impiego del motore ad accensione comandata e del motore Diesel. Combustione regolare e combustioni anomale (preaccensione, detonazione). Combustibili per motori a combustione interna. Recupero di calore da motori alternativi.

**8. La cogenerazione quale strumento per la razionalizzazione delle attività energetiche.** Caratteristiche delle turbine a vapore, a gas e dei motori alternativi nel contesto cogenerativo.

**9. Impiego delle macchine e problemi di salvaguardia ambientale:** inquinamento chimico e termico legati alla generazione di potenza.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni si svolgono settimanalmente e per esse vige una regolamentazione esposta alla teca dell'Istituto. Le esercitazioni hanno per argomento la trattazione grafico-numerica di alcuni problemi significativi della disciplina ed hanno come scopo l'accertamento delle capacità applicative dell'allievo.

#### *Modalità d'esame*

L'allievo per il quale non fosse stata positivamente verificata la capacità applicativa durante le esercitazioni sosterrà una prova scritta prima dell'esame orale.

L'esame verte sugli argomenti trattati nelle lezioni, di cui al suddetto programma, e sulle esercitazioni.

#### *Libri consigliati*

##### *Lezioni*

E. Macchi: *Termofluidodinamica applicata alle macchine* - CLUP

C. Casci: *Macchine a fluido incompressibile* - Masson

E. Casci: *Compressori di Gas* - Masson

C. Casci: *Macchine a fluido bifase* - Masson

F. Montevicchi: *Turbine a gas* - CLUP

C. Casci: *Motori a fluido monofase* - Masson

##### *Esercitazioni*

C. Casci: *Macchine Idrauliche* - Masson

C. Casci: *Macchine Termiche* - Masson

C. Casci: *Motori a combustione interna e impianti speciali* - Masson.

#### **MACCHINE (I semestre)**

**AK0030**

Per gli allievi dei corsi di laurea in Ingegneria Meccanica (cos,vei) e Nucleare

**Prof. Pietro FERRARI**

#### *Programma d'esame*

**1. Principi generali.** Proprietà termodinamiche dei fluidi. Cenni sul calcolo delle proprietà termodinamiche. Il principio degli stati corrispondenti. Il principio di conservazione dell'energia nei sistemi aperti nel riferimento assoluto e relativo.

2. **Macchine idrauliche.** Energia idraulica, salto motore, perdite nelle condotte e rendimento idraulico delle macchine. La teoria della similitudine idraulica e il numero di giri caratteristico. La cavitazione nelle macchine idrauliche (pompe e turbine). Le turbine Pelton, Francis e Kaplan. Criteri di scelta delle turbine idrauliche. Le pompe centrifughe ed il loro inserimento nei circuiti idraulici. Cenni sulle pompe volumetriche.
3. **Compressori di gas.** Termodinamica della compressione dei gas e dei vapori. Effetti delle irreversibilità interne. Il compressore centrifugo: caratteristiche operative e dimensionamento di massima. Il compressore assiale. La teoria della similitudine idraulica adattata alle macchine a fluido comprimibile. Cenni sui compressori volumetrici.
4. **Macchine a vapore.** Cicli termodinamici e schemi d'impianto: a vapore saturo, a vapore surriscaldato, a surriscaldamenti ripetuti. Preriscaldamento rigenerativo dell'acqua. Uso del diagramma di Mollier e delle tavole del vapor d'acqua. Cicli binari e ternari. Turbine a vapore a recupero parziale. Accumulatore di vapore. Teoria dell'ugello di De Laval. Turbine assiali ad azione; turbine a reazione. Comportamento ideale e analisi delle perdite. Influenza del titolo del vapore sulle caratteristiche dell'espansore. Turbine a salti di velocità e a salti di pressione. Turbine multi-stadio e configurazione generale delle turbine in funzione del livello di potenza dell'impianto. Aspetti costruttivi delle turbine e problemi di materiali. Cenni sulle turbine radiali. I generatori di vapore: classificazione, principi di funzionamento, calcolo delle perdite, problemi di scambio termico. I condensatori ed i rigeneratori.
5. **Pompe di calore e macchine frigorifere.** Termodinamica del ciclo di Rankine inverso. Fluidi di lavoro organici. Il ciclo frigorifero. La pompa di calore. Costituzione delle diverse organizzazioni meccaniche.
6. **Turbine a gas.** Termodinamica del ciclo di potenza: semplice, ideale e reale; ad interrefrigerazione; a ricombustione; a rigenerazione. L'influenza della temperatura massima del ciclo. Problemi di ottimizzazione, problemi meccanici e problemi di materiali. La refrigerazione delle palette. Generalità sui cicli chiusi. Cicli combinati turbina a gas - turbina a vapore. Ottimizzazione termodinamica. Cicli a più livelli di pressione. Turbine a gas a iniezione di vapore. Combustibili naturali e sintetici per turbine a gas.
7. **Motori alternativi a combustione interna.** Termodinamica dei cicli. Rendimenti e potenze specifiche. Caratteristiche d'impiego del motore ad accensione comandata e del motore Diesel. Combustione regolare e combustioni anomale (preaccensione, detonazione). Combustibili per motori a combustione interna. Recupero di calore da motori alternativi.
8. La cogenerazione quale strumento per la razionalizzazione delle attività energetiche. Caratteristiche delle turbine a vapore, a gas e dei motori alternativi nel contesto cogenerativo.
9. Impiego delle macchine e problemi di salvaguardia ambientale: inquinamento chimico e termico legati alla generazione di potenza.

#### *Esercitazioni*

Gli allievi che hanno partecipato con esito positivo alle esercitazioni dovranno presentare alla Commissione esaminatrice gli elaborati svolti durante l'anno. Tali elaborati, unitamente ai fondamenti teorici ad essi relativi, saranno oggetto di domande di esame.

#### *Modalità d'esame*

Coloro che non hanno partecipato con esito positivo alle esercitazioni dovranno svolgere, prima dell'esame orale, una prova scritta che accerti la loro capacità ad operare correttamente anche nei confronti di problemi di cui si richieda una soluzione numerica.

*Libri consigliati*

## Lezioni

E. Macchi: *Termofluidodinamica Applicata alle Macchine* - CLUP

C. Casci: *Macchine a fluido incompressibile* - Masson

C. Casci: *Compressori di gas* - Masson

C. Casci: *Macchine a fluido bifase* - Masson

F. Montevicchi: *Turbine a gas* - CLUP

C. Casci: *Motori a fluido monofase* - Masson

*Esercitazioni*

C. Casci: *Macchine Idrauliche* - Masson

C. Casci: *Macchine Termiche* - Masson

C. Casci: *Motori a combustione interna e impianti speciali* - Masson.

**MACCHINE II****AK0021****Prof. Evandro SACCHI***Programma d'esame***1. LE DISPONIBILITÀ' DI CALORE.**

Il calore recuperabile dalle centrali termoelettriche, il calore di scarto da parte delle industrie, il calore da rifiuti solidi urbani ed industriali, il calore da acquiferi geotermici, utilizzazione dell'energia solare (in via diretta ed indirettamente: dall'acqua, dall'aria e dal terreno). Le centrali di produzione di calore alimentate da combustibili fossili.

**2.1 SISTEMI A POMPA DI CALORE.**

Premesse termodinamiche sugli indicatori di efficienza delle trasformazioni di energia: rendimenti di secondo principio. Trasferimento di calore da una sorgente ad un pozzo termico: caso reversibile e casi irreversibili. Bilanci energetici con i corrispondenti indicatori di efficienza (di primo, di secondo principio, exergetici).

Sistemi di trasferimento di calore mediante le pompe di calore. Tipologie impiantistiche dei sistemi a pompa di calore.

**3.1 SISTEMI AD ENERGIA TOTALE.**

La cogenerazione di elettricità e di calore applicata a bacini urbani ed alle industrie.

3.1.1 sistemi ad energia totale basati sulla turbina a vapore. Turbina a vapore a recupero totale ed a recupero parziale: i parametri di scelta e di funzionamento a carico parziale. Le diverse tipologie impiantistiche: cogenerazione di elettricità e di energia termica (solo caldo, caldo e freddo). Le modifiche strutturali ai gruppi termoelettrici per il recupero del calore di condensazione. Il diagramma dei consumi di vapore. Le caldaie policombustibile (combustione a letto fluido, coal-water, ecc.).

3.2.1 sistemi ad energia totale basati sui motori alternativi. Le diverse tipologie impiantistiche (con sovralimentazione, con post-combustione).

3.3. I sistemi ad energia totale basati sulla turbina a gas. Turbina a gas con post-combustione. Associazione della turbina a gas con pompe di calore e con cicli frigoriferi (macchine ad assorbimento e compressori centrifughi).

3.4. I sistemi ad energia totale a cicli misti: il motore diesel e la turbina a gas in topping cycle rispetto alla turbina a vapore in bottoming cycle. Tipologie impiantistiche connesse. Cicli combinati per sola produzione di energia elettrica. Potenziamento di centrali industriali mediante turbine a gas.

#### **4. GLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO URBANO.**

Tipologia delle reti di distribuzione del calore e loro dimensionamento. Il sistema della centrale di produzione e della rete di distribuzione del calore: problemi di ottimazione in dinamica temporale ed urbanistica.

L'affidabilità dei sistemi a tecnologia complessa.

#### **5. IL RECUPERO ENERGETICO DA RIFIUTI SOLIDI URBANI.**

Status del problema dei rifiuti solidi urbani ed assimilabili e dinamiche evolutive.

Il recupero energetico su impianti di incenerimento pre-esistenti e su impianti di nuova progettazione. I bilanci di massa e di energia. L'impatto ambientale.

#### **6. LE MACCHINE AD ASSORBIMENTO.**

Principi costitutivi. Assorbimento con cicli monostadio e pluristadio: ciclo a doppio generatore, a doppio evaporatore, ad effetto variabile, a doppio effetto, ciclo rigenerativo e bistadio recuperativo. Pompe di calore ad assorbimento.

Equivalenza energetica tra macchine ad assorbimento e sistemi termodinamici a total energy.

Schemi impiantistici impostati sulle macchine ad assorbimento; impianti a tecnologia complessa con macchine termodinamiche e ad assorbimento.

#### **7. LE CELLE A COMBUSTIBILE.**

Principi costitutivi. Bilanci di massa e di energia. Le tipologie: celle ad elettrolita alcalino, ad elettrolita acido, a sali fusi, ad elettrolita solido.

Celle a combustibile in assetto cogenerativo.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in colloqui durante l'insegnamento e in un prova orale finale.

#### *Libri consigliati*

E. Macchi, P. M. Pellò, E. Sacchi: *Cogenerazione e teleriscaldamento*. Edizione CLUP Milano.

R. Lazzarin: *L'energia solare e la produzione del freddo* - Edizione PEG EDITRICE. Milano.

C. Casci, L. Cassitto: *Energia dai rifiuti urbani ed industriali* - Edizione CLUP, Milano.

1987 Asme Cogen-Turbo: *International Symposium on Turbomachinery, Combined-cycle Technologies and Cogeneration* - Edited by G. K. Serovy.

S. W. Angrist: *Direct Energy Conversion*, Edited by Allyn and Baron, Inc., Boston.

E. Sacchi: *alcune dispense sulle lezioni impartite*.

### **MACCHINE ELETTRICHE**

**AH0006**

**Prof. Mario UBALDINI**

#### *Programma d'esame*

### **GENERALITÀ' SULLE MACCHINE ELETTRICHE.**

#### **- Circuiti mutuamente accoppiati.**

L'induttore elementare: auto e mutua induttanza.

Teoria dei circuiti mutuamente accoppiati: due circuiti: equazioni e rete equivalente; N circuiti.

Reti magnetiche e reti elettriche equivalenti.

**- Materiali.**

**a) Conduttori:** caratteristiche; perdite specifiche in c. continua; effetto della temperatura; perdite addizionali.

**b) Magnetici:** perdite specifiche per isteresi e per correnti parassite; cifra di perdita; caratteristiche di materiali.

**c) Isolanti:** perdite specifiche; classi di materiali isolanti e loro caratteristiche; sollecitazioni dielettriche e prove di isolamento.

**- Comportamento termico.**

Teoria del comportamento termico: sistemi ad una o a più costanti di tempo. Calcolo e sistemi di raffreddamento. Potenza nominale e servizio di una m.e. Prove di riscaldamento.

**TRASFORMATORI.**

Struttura e teoria generale: equazioni e diagramma vettoriale; circuiti equivalenti completo e ridotti. Funzionamento a prove a vuoto ed il c. c.to. Perdite, rendimenti e cadute di tensione. Funzionamento in parallelo. Transitorio di inserzione e di corto circuito. Trasformatori a tre avvolgimenti, autotrasformatore, trasformatori speciali. Trasformatore trifase; teoria, collegamenti, gruppo ed indice orario.

**MACCHINE ROTANTI.****- Conversione elettromeccanica dell'energia.**

La macchina rudimentale: equazione elementare del moto. Stabilità elettromeccanica. Macchina ad una f.m.m.: coppia di anisotropia. Macchina a due f.m.m.: coppia di mutua induttanza. Impostazione generale dell'espressione della coppia per una m.e. a n f.m.m.

**- Il campo rotante.**

Struttura magnetico-meccanica. Campo di un avvolgimento (monofase), bifase e trifase. Avvolgimenti: costituzione e f.e.m. indotte.

**- Macchine sincrone.**

Costituzione. Funzionamento a vuoto. Teoria e costruzione di Potier sulle m. isotrope. Parametri, curve caratteristiche e loro determinazione a misura.

Teoria linearizzata (di Behn-Eshemburg).

Potenza attiva e reattiva, stabilità, diagramma polare. Perdite, rendimento e variazioni di tensione.

Macchine anisotrope: teoria dei due assi, costruzione di Amold-Blondel, teoria linearizzata e costruzione delle due reattanze. Diagramma polare. Macchina ad anisotropia e compensatore sincrono.

**- Macchina asincrona.**

Costituzione. Teoria trasformatorica e circuiti equivalenti. Diagramma circolare. Campi di funzionamento ed interpretazione del diagramma circolare. Coppia. Caratteristiche di funzionamento come motore, perdite e rendimento. Avviamento. Funzionamento da generatore. Motori a doppia gabbia, m. a. sincronizzata, convertitore di frequenza e di fase. Motori asincroni monofasi e loro avviamento.

**- Macchine a collettore a c.c. e c.a.**

Costituzione; il collettore. F.e.m. indotta. Equazioni di funzionamento. Reazione di indotto: poli ausiliari e avvolgimenti compensatori. Dinamo e motori con eccitazione indipendente, avviamento e regolazione della velocità: dinamo ad ecc. derivata. Motori ad ecc. serie. Macchine ad ecc. mista. Perdite e rendimenti. Motori a c.a. a collettore.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni sono del tipo numerico-grafico (in aula) e sperimentale (in laboratorio).

Le esercitazioni in aula vertono sui seguenti argomenti:

a) circuiti elettrici mutuamente accoppiati: soluzione di circuiti con auto e mutua induttanza e di f.e.m. indotta. Comportamento termico delle m.e.

b) trasformatori: calcolo del rendimento convenzionale, delle variazioni di tensione e delle caratteristiche di funzionamento.

Funzionamento in parallelo.

c) macchine sincrone: calcolo del rendimento convenzionale, delle variazioni di tensione e delle caratteristiche di funzionamento.

Diagrammi vettoriali e polari.

d) macchine asincrone: calcolo del rendimento convenzionale e delle caratteristiche di funzionamento. Diagramma circolare. Funzionamento monofase.

e) macchine a corrente continua: calcolo del rendimento convenzionale e delle caratteristiche di funzionamento per macchine con eccitazione indipendente, derivata e serie.

Le esercitazioni sperimentali comprendono:

a) funzionamento transitorio termico di un trasformatore;

b) collaudo di trasformatore;

c) collaudo della macchina sincrona; operazione di parallelo;

d) collaudo della macchina asincrona;

e) collaudo della macchina a corrente continua e caratteristiche di velocità.

#### *Modalità d'esame*

L'esame è articolato in due parti nel seguente ordine:

1) una prova alla lavagna, in cui l'allievo dovrà dimostrare di essere in grado di risolvere problemi applicativi del tipo di quelli oggetto del corso di esercitazioni;

2) un esame vertente sulla materia oggetto del corso di lezioni.

Coloro che, frequentando le esercitazioni avranno riportato un giudizio di idoneità, sono esonerati dalla prova alla lavagna.

#### *Libri consigliati*

S. Crepaz: *Macchine elettriche* ed. CLUP 1976.

## **MACCHINE ELETTRICHE (e azionamenti elettrici)**

**AH0118****Prof. Mario UBALDINI**

#### *Programma d'esame*

### **1. NOZIONI INTRODUTTIVE:**

- richiami sui sistemi elettrici monofase e trifase in regime alternato sinusoidale;

- leggi fondamentali dei circuiti magneticamente accoppiati;

- principali nozioni sui materiali: conduttori, magnetici e isolanti.

### **2. MACCHINE ELETTRICHE:**

#### **2.1. Trasformatori.**

- usi e cenni costruttivi;

- trasformatore reale a due avvolgimenti e circuiti equivalenti;

- funzionamento a vuoto, in corto circuito e a carico;

- autotrasformatore, trasformatore a tre avvolgimenti e trasformatore trifase;

- funzionamento in parallelo di due trasformatori.

**2.2. Conversione elettromeccanica dell'energia.****2.2.1. Generalità.**

- Trasduttore elementare; leggi generali di conversione elettromeccanica;
- il campo magnetico rotante e gli avvolgimenti trifase.

**2.2.2. Macchine asincrone (o a induzione).**

- usi e cenni costruttivi;
- equazioni della macchina asincrona trifase in regime dinamico;
- matrice di trasformazione delle variabili ed equazioni della macchina a collettore equivalente;
- modello dinamico del V ordine;
- funzionamento in regime stazionario;
- diagramma circolare e caratteristica meccanica;
- motore asincrono monofase.

**2.2.3. Macchine sincrone.**

- usi e cenni costruttivi;
- equazioni della macchina sincrona trifase in regime dinamico;
- matrice di trasformazione delle variabili ed equazioni della macchina a collettore equivalente;
- modello dinamico del VII ordine;
- funzionamento in regime stazionario;
- funzionamento a vuoto e in corto circuito;
- diagrammi vettoriali, funzionamento in parallelo sulla rete e curve a "V";
- caratteristiche meccaniche e stabilità statica.

**2.2.4. Macchine a corrente continua.**

- usi e cenni costruttivi;
- funzionamento a vuoto; funzionamento a carico come generatore e come motore; reazione di indotto; coppia elettromeccanica;
- equazioni fondamentali in regime stazionario e in regime dinamico.

**3. AZIONAMENTI ELETTRICI:****3.1. Generalità.**

- componenti, applicazione e normative;

**3.2. Semiconduttori e convertitori per gli azionamenti:**

- semiconduttori di potenza: diodi, tiristori, GTO, transistori;
- circuiti di commutazione;
- convertitori c.a./c.c. inverter, convertitori c.c./c.c..

**3.3. Attuatori:**

- modellistica e campo di operatività: motori a c.c. e a c.a. con induttore avvolto e a magneti permanenti;
- motori passo passo e a riluttanza.

**3.4. Architetture di controllo:**

- per azionamenti con motorizzazioni in c.c. e c.a.

**3.5. Applicazioni.**

- azionamenti per macchine operatrici.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nelle applicazioni sotto forma numerica e pratica della teoria svolta.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

*Libri consigliati*

M. Ubaldini: *Macchine Elettriche*, Euscolapio, Bologna (presso CLUP Politecnico).

M. G. Say: *Introduction to the Unified Theory of Electromagnetic Machines*, Ed. Pitman, 1971.

R.H. Engelmann: *Static and Rotating Electromagnetic Devices*, Ed. Marcel Dekker inc, New York, 1982.

N. Mohan, T.M. Undeland, W.P. Robbins: *Power electronics: converters, application and design*, J. Wiley & Sons, 1989.

**MACCHINE ELETTRICHE II****AH0114****Prof. Gaetano SOCI***Programma d'esame***1) Macchine statiche.**

**Trasformatori.** Trasformatori e autotrasformatori a rapporto variabile: trasformatori con variazione del N° di fasi; trasformatori serie; regolatori in fase-quadratura; trasformatori per circuiti elettronici: strutture e particolari costruttivi; studio del funzionamento. Reti equivalenti di trasformatori a più avvolgimenti.

**Regolatori di tensione ad induzione.** Macchine trifasi e monofasi; variatore di fase: strutture, funzionamento, diagrammi vettoriali.

**2) Motori monofase.**

**Motori monofase ad induzione.** Tipologie e relative caratteristiche di funzionamento; campo rotante di macchine bifasi dissimetriche; circuiti equivalenti.

**Motori monofase a collettore.** Struttura, caratteristiche di funzionamento; motori a repulsione.

**3) I magneti permanenti (M.P.).**

Elementi di fisica, grandezze caratteristiche, classificazione dei materiali e delle forme per M.P., lo studio del funzionamento in termini locali e circuitali: linea di carico, punto di lavoro, prodotto d'energia, smagnetizzazione reversibile e irreversibile con carico passivo, attivo, per variazioni di temperatura; apparecchi magnetizzatori.

**4) Trasduttori di velocità e di posizione.**

Tachimetri sincroni, asincroni, a c.c.; encoder; resolver: a induzione, brushless ad effetto Hall; sensori di posizione ottici e magnetici; dispositivi di telecontrollo e telecomando: i sincro.

**5) Motori e servomotori a C.C., a collettore, con M.P..**

Tipologie; motori con traferro cilindrico e piano: strutture di induttore e di indotto; influenza delle caratteristiche strutturali sui parametri della risposta dinamica: costanti di tempo elettrica e meccanica, potenza transitoria; caratteristiche di funzionamento; circuiti equivalenti; servoamplificatori di alimentazione.

**6) Motori e servomotori Brushless con M.P..**

Motore "D.C. brushless": strutture, principio di funzionamento, confronto con il motore a collettore; studio della macchina con magnete esteso per 180° e per 120°; calcolo di coppie, f.e.m., forme d'onda delle grandezze elettriche di fase e di linea; caratteristiche di funzionamento.

**7) Macchine sincrone a M.P. e a riluttanza variabile.**

**Alternatori.** Tipologie costruttive; circuiti equivalenti.

**Motori sincroni ibridi a M.P. interno.** Strutture di rotore; funzionamento a vuoto e a carico: f.e.m., reattanze; coppie di allineamento e anisotropia; circuito equivalente; diagrammi circolari; regolazioni di coppia e velocità.

**Motori sincroni a riluttanza.** Strutture e tipologie; motori con avviamento da linea; motori a riluttanza monofasi.

**Motori ad isteresi.**

**8) Motori passo-passo.**

Tipologie: motori a riluttanza variabile, a M.P., ibridi; principio di funzionamento; numero di passi/giro e sua dipendenza dal numero di fasi, di espansioni, di denti; coppia di mantenimento e di tenuta; comportamento dinamico al singolo passo; funzionamento in rotazione continua; dispositivi di pilotaggio e di smorzamento; caratteristica meccanica; circuito equivalente magnetico; calcolo delle prestazioni.

**9) Motori a riluttanza a doppio saliente (S.R.M.).**

Struttura; principio e caratteristiche di funzionamento; peculiarità dimensionali dei poli; coppia al traferro; effetti della saturazione; dispositivi di alimentazione; forme d'onda; caratteristica meccanica.

**10) Macchine lineari.**

Tipologie e strutture: motori asincroni; motori e generatori sincroni; macchine a statore corto e lungo; motori tubolari; macchine per sistemi di trasporto terrestre: motori per la propulsione, con eccitazione convenzionale o superconduttiva; dispositivi per la levitazione, di tipo attrattivo (elettromagnetico) e repulsivo (elettrodinamico); studio del funzionamento: modellistica, prestazioni.

**11) Macchine per usi particolari.**

Macchine omopolari in c.c. e c.a.; motore coppia; motore asincrono a rotore massiccio, a rotore esterno, per alta frequenza; micromotori e piccoli attuatori; pompe, freni e frizioni elettromagnetici.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni, di tipo numerico-grafico, riguardano principalmente:

- caratteristiche di funzionamento di un autotrasformatore;
- studio di un regolatore di tensione ad induzione trifase;
- prestazioni di un motore ad induzione;
- caratteristiche di un motore monofase a collettore;
- studio di dispositivi magnetici con magneti permanenti;
- studio di un motore a c.c. a M.P. con traferro piano;
- studio del funzionamento di un motore brushless a M.P.;
- prestazioni di un motore sincrono a M.P. e a riluttanza;
- studio del funzionamento di un motore a doppio saliente

*Modalità d'esame*

Sono ammessi all'esame, esclusivamente orale, gli allievi che abbiano frequentato le esercitazioni con sufficiente assiduità e che abbiano consegnato tutti gli elaborati relativi, ottenendo il visto di approvazione secondo le scadenze stabilite. L'allievo deve presentare all'esame tutti gli elaborati di esercitazione, che possono anche costituire materia di interrogazione.

*Libri consigliati*

Fitzgerald, Kingsley, Kusko: *Macchine Elettriche* - Franco Angeli Editore, Milano

G. R. Slemmon, A. Straughen: *Electric Machines* - Addison-Wesley Publishing Company - London - Amsterdam

Franklin, Franklin: *The J & P Transformer Book*, Butterworth & Co., Publishers Ltd., 1<sup>st</sup> edition, London, 1983.

Kenio, Nagamori: *Permanent-Magnet and Brushless D.C. Motors*, Clarendon Press, Oxford, 1985.

Miller: *Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives*, Clarendon Press, Oxford, 1989.

Jufer: *Transducteurs électromécaniques*, ed. Georgi, St-Saphorin (CH), 1979.

Nasar, Boldea: *Linear motion electric machines*, Wiley & Sons, New York, 1976.

Durante il Corso saranno disponibili appunti relativi agli argomenti svolti durante le lezioni.

**MAGNETOFLUIDODINAMICA APPLICATA****AV0113****Prof. Carlo CERCIGNANI***Programma d'esame*

Il corso verte sulla dinamica dei fluidi conduttori d'elettricità, avendo in mente le applicazioni ai plasmi e in particolare alla fusione controllata. Il programma d'esame è centrato sui seguenti argomenti:

Richiami di **Meccanica dei mezzi continui (con particolare riguardo per i fluidi)**: Sforzi, equazioni di bilancio della quantità di moto, della massa e dell'energia. Fluidi ideali e viscosi.

**Equazioni deH'elettromagnetismo**: Equazioni di Maxwell e premaxwelliane. Energia magnetica e sforzi del campo magnetico.

**Equazioni della magnetofluidodinamica**: Loro forme differenziali e integrali. Fluidi conduttori (ideali e non).

**Soluzioni statiche e stazionarie**: Equilibri: equilibri piani, equilibri cilindrici  $\theta$ -pinch, z-pinch, screw pinch, force-free, equilibri toroidali (assimmetrici, di Solov'ev). Equazione di Grad-Shafranov. Impossibilità di equilibri puramente toroidali; impossibilità di equilibri con campi autosostenuti; fattore di sicurezza  $q$ . Trasformata rotazionale. Moti stazionari di fluidi conduttori ideali e non. Colonne di plasma, pinch-effect, tokamak.

**Stabilità dell'equilibrio e del movimento di un fluido conduttore**: I due metodi di Liapunov.

Linearizzazione e stabilità. Il metodo dell'energia. Instabilità idrodinamiche: corrente di Poiseuille non viscosa, di Poiseuille viscosa, instabilità baroclinica. Stabilità degli equilibri:  $\theta$ -pinch, z- $\theta$  pinch. Tecniche numeriche per la risoluzione di problemi differenziali lineari agli autovalori.

**Propagazione d'onde**: Fronti d'onda come superfici caratteristiche. Velocità di propagazione. Relazione di dispersione per le equazioni MHD linearizzate. Onde di shear Alfvén; onde magnetostatiche lente; onde magnetostatiche veloci.

**Onde d'urto**: Relazioni di discontinuità per fluidi conduttori ideali.

**Modello a due fluidi**: Confronto con modelli microscopici e modelli a un fluido. Descrizione cinematica, a più fluidi, MHD di un plasma. Limiti di validità di ogni regime. Scale spaziali e temporali microscopiche in un plasma: onde di plasma e lunghezza di Debye.

**Cenni alla teoria di drift** (moto di una carica in un campo magnetico uniforme)

**Dinamo cinematica**: teorema antidinamo per le configurazioni assisimmetriche; teoria a due scale. Effetto a, effetto Q.

**Scariche di plasma:** equilibri chimici alle alte temperature. Equazione di Saha. Scariche nei gas rarefatti. Primo coefficiente di Townsend. Scariche nei gas a pressione atmosferica. Polveri metalliche in flussi di plasma. Meccanismi di trasferimento di calore. Visita guidata degli studenti all'industria *Flametal* di Fomovo, che utilizza torce a plasma per realizzare il rivestimento dei materiali.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nello svolgimento di esempi, complementi e soluzione di problemi attinenti agli argomenti del corso.

#### *Modalità d'esame*

L'esame comporta una prova orale.

#### *Libri consigliati*

N.G. Van Kampen: *Theoretical Methods in Plasma Physics*, North Holland, Amsterdam

A. Jeffrey: *Magnetofluidodinamica*, Cremonese, Roma

V.C.A. Ferrara and C. Plumpton: *An Introduction to Magneto-Fluid Mechanics*, Clarendon Press, Oxford

T.G. Cowling: *Magnetohydrodynamics*, Interscience, New York

H. Cabannes: *Theoretical Magnetofluidynamics*, Academic Press, New York

## **MARKETING INDUSTRIALE**

**AQ0011**

**Prof. Franco GIACOMAZZI**

#### *Programma d'esame*

##### **1. Impresa e Ambiente.**

Il modello di interazione impresa-ambiente.

Concetto di capacità di risposta.

Evoluzione organizzativa in risposta alle esigenze dell'ambiente esterno.

Sistema sociotecnico.

Coerenza interna ed esterna come fattori di successo.

Le imprese come culture.

##### **2. Il ruolo del Marketing.**

Cause dell'odierno orientamento al Marketing.

Evoluzione del ruolo del Marketing nell'impresa e sua posizione nella struttura aziendale.

Diverse filosofie cui l'azione di Marketing si ispira

##### **3. Mercato e sistema competitivo.**

Bisogni, Scambio, Mercati, Marketing.

Mappe di scambio.

Gli attori e le forze in gioco (sistema essenziale di marketing, sistema competitivo, pubblici, il macro-ambiente).

Il modello di Porter.

Caratteristiche dei mercati dei beni industriali.

Classificazione dei mercati e loro caratterizzazione (6 O).

Leve del marketing mix (4 P).

##### **4. Strategia di impresa e strategia di Marketing.**

Individuazione, gerarchizzazione e funzionalizzazione delle missioni e delle strategie.

**5. Dinamica e struttura dei costi per le decisioni di Marketing.**

Struttura dei costi.

Effetto esperienza.

Effetto scala.

**6. Il processo d'acquisto nei mercati dei beni industriali.**

Fasi del processo d'acquisto.

Il Centro d'acquisto.

Tipologie di acquisto industriale.

Classificazione dei fornitori.

Capitolato d'acquisto.

**7. Individuazione delle opportunità di mercato.**

Segmentazione. Differenziazione. Standardizzazione.

Strategie di sviluppo.

Analisi del portafoglio prodotti.

Analisi della concorrenza.

Analisi rischi/opportunità.

**8. Prodotto e ciclo di vita.**

Prodotto e servizio: definizione e componenti.

Sviluppo di nuovi prodotti.

Ciclo di vita.

**9. Il sistema informativo di Marketing.**

Struttura del S.I. di Marketing (il Sistema di Reporting, il Sistema di Marketing Intelligence, il Sistema delle Analisi di Marketing, il Sistema delle Ricerche di Mercato).

Misura dei mercati e previsione della domanda.

**10. Strategie di prezzo.**

**11. Pianificazione e controllo di Marketing.**

**12. Canali distributivi.**

*Modalità d'esame*

Orale

*Libri consigliati*

**Testo adottato:** Kotler: *Marketing Management*, VI edizione, ISEDI (\*)

**Testi di supporto, suggeriti:**

Kotler: *Marketing Management*, Vili Edizione inglese, Prentice Hall. (\*)

Lambin: *Marketing*, McGraw-Hill (ed. italiana) (\*)

Webster: *Industrial Marketing Strategy* - Wiley (\*)

Corey: *Industrial Marketing*, Prentice Hall. (\*)

Fiocca: *Il marketing dei beni industriali*, Giuffè

Lagioni: *Marketing dei beni industriali*, Vita e Pensiero

Brondoni: *Politiche di mercato dei beni industriali*, Giuffè

Casi aziendali discussi in aula.

N.B.:I testi indicati con (\*) sono disponibili presso la biblioteca del Dipartimento di Economia e Produzione.

**MATERIALI METALLICI**  
**Prof.ssa Giuliana LECIS COCCIA****AE0008***Programma d'esame*

- 1) Struttura dei materiali metallici e proprietà ad essa correlate con particolare riferimento a quelle termodinamiche e meccaniche, influenza dei difetti cristallini.
- 2) Uso dei diagrammi di fase per l'interpretazione del comportamento di un materiale metallico ed applicazione a qualche caso pratico.
- 3) Processi che avvengono nei materiali solidi: diffusione per vacanze e moto delle dislocazioni.
- 4) Deformazione dei materiali: comportamento elastico e plastico. Applicazioni della deformazione plastica.
- 5) Trasformazioni di fase nei materiali con applicazioni; es.: materiali per alta temperatura.
- 6) Deterioramento dei materiali: corrosione di metalli e leghe, ossidazione di metalli e leghe; scelta di materiali resistenti alla corrosione.
- 7) Trattamenti superficiali a scopo protettivo: apporto di materiali da fase gassosa, acquosa, non acquosa, diffusione, reazione chimica, anodizzazione, ecc.
- 8) Progettazione di un manufatto: lavorazione alle macchie utensili; saldatura; principali metodi di prove e controllo, considerazioni economiche, reperibilità di mercato, normativa UNI ecc..
- 9) Esempi di scelta dei vari materiali in alcuni tipici impianti industriali

*Esercitazioni*

Faranno parte integrante del corso lezioni monografiche di carattere più applicativo sulla progettazione di manufatti seguite da visite a impianti di interesse ingegneristico.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una discussione sui criteri di scelta dei materiali metallici di uso ingegneristico.

*Libri consigliati*

Appunti di lezione.

Cottrel A.H.: *An introduction to metallurgy* (Edwards Arnold Ltd., London 1967).

Benard J., Michel A., Philiberd., Talbot J.: *Metallurgie général* (Masson & CIE 1969).

Nicodemi W.: *Metallurgia* (Masson, Milano 1991).

Rose M.R., Shepard L.A., Wulff J.: *The structure and properties of materials* (Wiley Ed.).

A. Cigada (a cura di): *Struttura e proprietà dei materiali metallici*, CittàStudi, 1993.

**MATERIALI POLIMERICI****AF0040****Prof.ssa Marta RINK***Programma d'esame***1. Caratterizzazione dei materiali polimerici.**

- Tipologia delle proprietà nei materiali polimerici: proprietà fondamentali e proprietà tecnologiche.
- Proprietà fondamentali di maggiore interesse applicativo: proprietà reologiche, proprietà meccaniche, proprietà termiche, proprietà elettriche, proprietà ottiche.
- Proprietà tecnologiche: resistenza alle sollecitazioni meccaniche; caratteristiche d'attrito, durezza, resistenza alla scalfitura e alla abrasione; resistenza alle sollecitazioni termiche e alla fiamma; resistenza ai solventi, agli agenti chimici e agli agenti atmosferici.

- Problematiche della misura delle proprietà nei materiali polimerici: dipendenza dallo stato del materiale, dall'ambiente e dalle condizioni di prova.

- Metodi di prova standard (significato e limiti). Normative.

- Il controllo di qualità sul materiale e sul manufatto (prove distruttive e non distruttive).

## 2. Principali famiglie di polimeri di interesse industriale.

- Classificazioni.

- Produzione, caratteristiche, settori applicativi più tipici.

## 3. Modificazione delle proprietà nei materiali polimerici.

- Additivi.

- Leghe polimeriche omogenee ed eterogenee.

- Materiali polimerici compositi: cariche e agenti rinforzanti. Ruolo della matrice. Compositi part-cellari. Compositi a base di fibre.

- Espansi polimerici.

## 4. Problematiche dell'applicazione dei materiali polimerici.

- Classificazione di profili di proprietà: polimeri di uso generale, tecnopolimeri, polimeri per usi speciali. Metodi di graduazione delle proprietà.

- Criteri di selezione del materiale. Metodi sistematici per la valutazione e comparazione dei profili di proprietà.

- Aspetti economici. Elementi di analisi del valore.

### Esercitazioni

Nelle esercitazioni saranno sviluppati sul piano applicativo alcuni argomenti trattati nel corso delle lezioni.

### Libri consigliati

J.A. Brydson: *Plastic Materials*, Butterworth, London, 1988.

U. Ulrich: *Introduction to Industrial Polymers*, Hanser Publi., Munich, 1982.

M. Chanda, S.K. Roy: *Plastics Technology Handbook*, Marcel Dekker, Inc., II ed., 1993

N. G. McCrum, C.P. Buckley, C.B. Bucknall: *Principles of Polymer Engineering*, Oxford University Press, Oxford, 1988.

D. Hull: *An Introduction to Composite Materials*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981.

## MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE

000002

(per gli allievi di Ingegneria Aerospaziale)

**Prof. Andrea CURAMI**

### Programma d'esame

**Elementi costitutivi delle macchine.** Schematizzazione ed elementi rigidi in generale. Catene cinematiche chiuse ed aperte: meccanismi articolati e manipolatori. Trasmissione del moto attraverso profili coniugati: ruote dentate ad assi paralleli, concorrenti, sghembi. Ruotismi ordinari ed epicycloidali.

**Cinematica dei sistemi a più corpi rigidi.** Analisi con metodi geometrico/vettoriali, metodi analitici con i numeri complessi, metodi analitico/numerici con le matrici di trasformazione. Applicazioni alla sintesi funzionale di meccanismi articolati.

**Schematizzazione delle forze di contatto.** Contatto fra solidi: strisciamento, attrito radente, logoramento; rotolamento, microsliittamenti. Applicazioni ad elementi delle macchine (perni, pattini,

ruote dentate, freni, ruote di veicoli, cinghie). Elementi di teoria della lubrificazione; perni e pattini lubrificati.

**La dinamica della macchina.** Scrittura delle equazioni: metodo di Lagrange, metodo degli equilibri dinamici. La macchina ad elementi rigidi ad un grado di libertà: moti di regime, transitori di avviamento e arresto. Stabilità del moto di regime. Azioni dinamiche trasmesse ai vincoli. Equilibramento di rotori e di macchine alternative. Schematizzazioni tecniche: curve caratteristiche.

**Effetti della deformabilità dinamica.** Fondamenti di teoria delle vibrazioni meccaniche. Schematizzazione e scrittura delle equazioni. Sistemi ad uno e n gdl: moti liberi, moti forzati armonici; risonanze, instabilità, vibrazioni autoeccitate. Analisi modale, coordinate principali. Isolamento delle vibrazioni. Dinamica dei rotori deformabili: velocità critiche flessionali e torsionali, equilibrio, instabilità.

#### *Esercitazioni*

L'allievo è tenuto a presentare le esercitazioni svolte durante l'anno alla Commissione esaminatrice. Le esercitazioni stesse ed i fondamenti teorici ad esse relativi, saranno oggetto di domande d'esame, in accordo con il programma sopra indicato.

#### *Libri consigliati:*

Ottorino Sesini, *Meccanica Applicata alle Macchine*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

Autori Vari, *Appunti di Meccanica Applicata alle Macchine*, Edizioni Spiegel.

Appunti integrativi del corso di Meccanica Applicata alle Macchine, Allievi Aeronautici, CUSL.

## **MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (I semestre)**

**00002**

(per allievi in Ingegneria Elettrica e Ambientale)

**Prof. Francesco SCARAMELLI**

#### *Programma d'esame*

### **1) FONDAMENTI DI MECCANICA TEORICA ED APPLICATA.**

- Cinematica e dinamica del punto materiale: notazione vettoriale e complessa; traiettoria e legge oraria; legge fondamentale della Dinamica; principio di d'Alembert; integrazione dell'equazione del moto.

- Statica del corpo rigido: tipi e gradi di vincolo, scrittura equazioni di equilibrio statico, principio dei lavori virtuali, determinazione delle reazioni vincolari.

- Cinematica del corpo rigido in atto di moto piano, centro delle velocità, teoremi di Rivals e Coriolis.

- Dinamica del corpo rigido nel piano: principio di d'Alembert, scrittura delle equazioni di equilibrio dinamico; lavori e potenze virtuali; energia cinetica e potenziale, principio di conservazione dell'energia, bilancio di potenze, equazioni di Lagrange; integrazione delle equazioni del moto.

### **2) DESCRIZIONE DI UNA MACCHINA.**

- Struttura costitutiva e descrizione di una macchina; schema funzionale.

- Modello fisico di una macchina: motore, trasmissione, utilizzatore, organi ausiliari: concetti generali di carattere descrittivo.

- Modellazione matematica di una macchina: azioni che intervengono durante il funzionamento, interazioni tra corpi rigidi o deformabili mutuamente accoppiati, interazioni con fluidi: concetti generali di carattere descrittivo.

### **3) SISTEMI AD UN GRADO DI LIBERTA'.**

Dinamica di una macchina ad 1 g.d.l.

- Motore: tipologie e curve caratteristiche; trasmissione, rendimento e potenza perduta.
- Scrittura delle equazioni generali del moto; integrali particolari moto a regime; irregolarità del moto.
- Linearizzazione delle equazioni del moto: stabilità del regime e piccoli moti nell'intorno delle condizioni di regime (vibrazioni ad 1 g.d.l.).
- Funzioni di trasferimento.

Cinematica e dinamica di meccanismi ad 1 g.d.l.

- Analisi di posizione per meccanismi in catena chiusa; rotazione vettoriale e complessa; analisi di velocità; analisi di accelerazione.
- Rotismi.
- Equilibri dinamici, P.L.V. e bilancio energetico.

Vibrazioni meccaniche

- Sistemi perturbati nell'intorno della posizione di equilibrio statico: vibrazioni libere e forzate, risonanza, smorzamento; sistemi ad 1 g.d.l. - n g.d.l.
- Azioni d'inerzia nelle macchine alternative.
- Fondazioni rigide e sospese.

### **4) DINAMICA DEI ROTORI.**

- Velocità critiche flessionali e torsionali.
- Equilibramento.
- Interazione con la struttura di fondazione.

### **5) COMPORTAMENTO DINAMICO DI LINEE DI TRASMISSIONE DI ENERGIA ELETTRICA.**

- Descrizione elementi strutturali componenti.
- Problema statico.
- Azioni indotte dal vento.
- Vibrazioni eoliche.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono in esercizi svolti in aula: il contenuto e i fondamenti teorici ad esse relativi saranno oggetto di domanda di esame, in accordo con il programma sopra indicato.

#### *Libri consigliati*

O. Sesini - *Meccanica Applicata alle Macchine*, C.E.A., Milano

Dispense integrative del corso

Dispense sulle misure di vibrazioni e sull'equilibramento dei rotori.

Altra bibliografia reperibile in Biblioteca Centrale:

G. Scotto Lavina *Applicazione di Meccanica delle Macchine*, voi. I, Tamburini, Milano

G. Scotto Lavina *Eccentrici a punteria*, Bignami, Milano

S. Timoshenko, D.H. Young *Meccanica Applicata*, Boringhieri o Einaudi, Torino

J.P. Den Hartog *Mechanical Vibration*, McGraw-Hill, Londra

E. Massa *Costruzione di Macchine*, voi. II, Tamburini, Milano

**MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE****AR0027**

(per allievi del Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali)

**Prof. Andrea VANIA***Programma d'esame*

Il programma di esame è stato suddiviso in gruppi di argomenti definiti come segue:

Gruppo A: Argomenti fondamentali per i quali si richiede una conoscenza approfondita sia nell'aspetto teorico che in quello applicativo.

Gruppo B: Argomenti fondamentali per i quali si richiede una conoscenza di carattere generale rivolta essenzialmente all'aspetto delle applicazioni.

Gruppo C: Argomenti complementari per i quali è sufficiente una conoscenza a livello informativo.

**I - Elementi di cinematica e di dinamica delle macchine.**

1) Richiami di cinematica e dinamica del punto. Moto rigido piano: moto assoluto e moto relativo. Teoremi di Rivals e di Coriolis, per la composizione di velocità e accelerazioni. Centro delle velocità e delle accelerazioni. Applicazioni. (Gruppo A)

2) Dinamica del corpo rigido: forze d'inerzia, principio di D'Alembert; scrittura delle equazioni di equilibrio dinamico. (Gruppo A) Cenni a sistemi articolati; impiego della notazione vettoriale complessa. Applicazioni. (Gruppo B)

3) Natura del contatto tra superfici non lubrificate, attrito secco, leggi di Coulomb. Resistenze al rotolamento, attrito volvente, verifica dell'aderenza. (Gruppo A)

4) Dinamica delle macchine: principio delle potenze virtuali, bilancio di potenze. Potenza perduta, rendimento della trasmissione. Moto diretto e retrogrado. Arresto spontaneo. Curve caratteristiche motore-utilizzatore, scelta del motore, determinazione della velocità di regime. Stabilità della velocità di regime. Applicazioni. (Gruppo A) Regime periodico ed irregolarità periodica. Applicazioni. (Gruppo A)

**5) Vibrazioni**

Oscillazioni libere forzate di sistemi ad 1 g.d.l.; smorzamento curva di risposta forzata, risonanza. Vibrazioni indotte da spostamento di vincolo. Isolamento delle vibrazioni: fondazioni rigide e sospese. Applicazioni. (Gruppo A) Velocità critiche flessionali e torsionali. Applicazioni. (Gruppo A) Vibrazioni longitudinali, flessioni e torsionali nei continui. (Gruppo B) Cenni a metodi ed a programmi di calcolo automatico agli elementi finiti. (Gruppo C)

**II Organi di macchine.**

1) Ingranaggi: ruote dentate cilindriche a denti diritti, retta d'azione, componenti di spinta. Giunti, innesto a frizione, freni, trasmissioni a cinghia. Cuscinetti a strisciamento ed a rotolamento. (Gruppo B)

**III Stato di sollecitazione e verifiche di resistenza di elementi di macchine.**

1) Prove statiche sui materiali a temperatura ordinaria: trazione e compressione semplici, diagramma di carico, deformazioni e definizione del limite di proporzionalità, di elasticità, di snervamento marcato o convenzionale, di rottura. Allungamento e contrazione percentuali nella prova di trazione. Prove di durezza. (Gruppo B)

2) Materiali fragili o duttili secondo il tipo di frattura: materiali ferrosi, ghise e acciai. Cenni sulla classificazione degli acciai. (Gruppo C)

3) Influenza della temperatura nelle prove rapide di trazione semplice. Fenomeno dello scorrimento sotto carico costante ad elevata temperatura (creep). (Gruppo B)

4) Stato di tensione: stati semplici e composti, direzioni principali, cerchi di Mohr. (Gruppo A)

5) Criteri di verifica della resistenza a sforzi statici: Rankine, Guest-Tresca, Huber, Mohr, Ros-Eichinger e relative tensioni di confronto. (Gruppo B) Generalità sulle verifiche di resistenza: concetto di tensione limite, di coefficiente di sicurezza, di tensione ammissibile. Coefficiente di sovra-sollecitazione teorica e coefficiente di forma Coefficiente di collaborazione. (Gruppo B) Recipienti

in pressione, calcolo mantelli cilindrici a piccolo ed a grande spessore soggetti a pressione interna ed esterna. Calcolo dei fondi, dei coperchi piani e sferici, delle flange. Applicazioni. (Gruppo B) Cenni e metodi ed a programmi di calcolo automatico agli elementi finiti. (Gruppo C)

6) Prove sui materiali sottoposti a cicli di carico ripetuti (fatica): diagramma di Woehler e diagramma di Smith. Diagramma di Smith Semplificato per il provino e per il pezzo. Determinazione dell'area di sicurezza nel diagramma di Smith. Esperienze di Gough e verifica a fatica in stato composto. (Gruppo B)

7) Verifica di resistenza a fatica di elementi in acciaio; fattori che influenzano la resistenza a fatica: overstressing, riposo, corrosione. Vibrazioni e sollecitazioni a fatica. (Gruppo B)

8) Verifiche di resistenza a durata degli acciai: verifica alla rottura e verifica delle deformazioni per sollecitazioni statiche ad elevata temperatura. (Gruppo B).

#### *Esercitazioni*

Consistono in esercizi applicativi di dinamica delle macchine ed in esercizi di dimensionamento di elementi meccanici.

#### *Modalità d'esame*

L'esame è orale. L'argomento introduttivo all'esame stesso è scelto tra quelli oggetto di esercitazione.

#### *Libri consigliati*

AA. VV.: *Appunti di Meccanica Applicata alle Macchine*, Edizioni Spiegel

E. Massa, L. Bonfigli: *Costruzioni di Macchine*, Masson Italia Editori S.P.A., Milano, (2 Voi.).

## **MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE**

**000002**

(per allievi del corso di laurea in ingegneria Gestionale)

**Proff. Nicolò BACHSCHMID, Giovanni MIMMI**

#### *Programma d'esame*

#### **Descrizione di una macchina e di un sistema meccanico.**

Struttura costitutiva, schema funzionale. Modello fisico e modello matematico. Studio del movimento in relazione alle forze agenti.

#### **Cinematica.**

Richiami del moto del punto e del corpo rigido. Teoremi di Coriolis e di Rivals. Centro di istantanea rotazione e polari del moto. Catene cinematiche chiuse: coppie cinematiche, meccanismi articolati, analisi cinematica con l'uso dei numeri complessi: manovellismo ordinario, quadrilatero articolato, meccanismi a glifo mobile, croce di Malta. Catene cinematiche aperte: meccanismi spaziali e manipolatori: analisi cinematica con l'uso di metodi matriciali (matrici di trasformazione).

#### **Dinamica dei meccanismi e delle macchine.**

Forze agenti nelle macchine. Forze di contatto. Attrito ed aderenza. Attrito volvente. Urto. Usura. Azioni scambiate tra solidi e fluidi. Studio dell'equilibrio dinamico e bilanci di potenze. Potenze dissipate e rendimento. Diversi tipi di moto. Diagrammi caratteristici di motori ed utilizzatori. Trasmissioni, moto diretto e moto retrogrado. Regime periodico, irregolarità e calcolo del volano. Equilibramento dei rotori e delle macchine alternative. Stabilità di sistemi ad un grado di libertà: definizione di stabilità dell'equilibrio e del moto a regime. Metodo delle piccole perturbazioni. Casi particolari di interesse tecnico. Lubrificazione: generalità sul moto dei fluidi, equazione di Reynolds,

vari tipi di lubrificazione. Moto del lubrificante e forze agenti nel meato. Applicazioni e relative verifiche.

#### **Vibrazioni.**

Vibrazioni libere e forzate di sistemi ad uno, due, n gradi di libertà. Isolamento delle vibrazioni. Velocità critiche torsionali e flessionali degli alberi.

#### **Organi di macchine.**

Eccentrici. Profilo dell'eccentrico con e senza rullo. Legge del moto. Scelta della molla. Ingranaggi. Ruote di frizione. Evolvente di cerchio. Generazione e taglio dei profili. Interferenza e sottotaglio, numero minimo di denti, ribassamento e correzione. Rendimento. Ingranaggi a denti dritti, elicoidali, conici, vite perpetua-ruota elicoidale. Ruotismi ordinari ed epicicloidali. Cuscinetti: accoppiamento perno cuscinetto a strisciamento asciutto e lubrificato, portante e spingente, cuscinetti a rotolamento. Giunti ed innesti: generalità. Ipotesi di Reye. Innesto a frizione. Giunto di Cardano e di Oldham. Freni: ad attrito, a ceppi ed a nastro. Trasmissioni a cinghia piana e trapezoidale.

#### *Modalità d'esame*

L'allievo è tenuto a presentare alla Commissione esaminatrice tutte le esercitazioni svolte durante l'anno. Tali esercitazioni ed i loro fondamenti teorici saranno oggetto di domande d'esame, in accordo con il programma sopra indicato. L'esame potrà essere preceduto da una prova scritta.

#### *Libri consigliati*

Appunti di: *Meccanica applicata alle macchine*, Ed. Spiegel.  
O. Sesini: *Meccanica Applicata alle Macchine*, Ed. C.E.A., Milano.  
Dispense integrative del corso.

#### *Altri libri utili per la consultazione*

E. Funaioli, A. Maggiore, U. Meneghetti: *Lezioni di Meccanica Applicata alle macchine*, Voi. I e II, Ed. Pàtron.  
G. Mimmi: *Esercitazioni svolte e temi d'esame di Meccanica Applicata alle macchine*, Ed. Esculapio.

## **MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE**

**AR0147**

(per gli allievi di Ingegneria Informatica e delle Telecomunicazioni)

**Prof. Stefano BROGLIO**

#### *Programma d'esame*

##### **1. Descrizione di una macchina.**

- struttura costitutiva e descrizione di una macchina, schema funzionale;
- modellazione matematica di una macchina: azioni che intervengono durante il funzionamento; concetto di campi di forze.

##### **2. Forze agenti sulle macchine.**

- forze agenti tra membri solidi: forze di attrito (attrito e aderenza); rotolamento e microscorrimento (forze di contatto);
- forze agenti tra fluidi e solidi: azioni fluidodinamiche (coefficienti di resistenza, portanza e coppia);
- forze agenti per interposizione di lubrificante.

**3. Cinematica dei sistemi a più gradi di libertà.**

- notazione matriciale nel caso di moti spaziali; matrici di trasformazione delle coordinate (angoli di Cardano, Eulero), formula di Poisson nel caso spaziale, matrici di trasformazione omogenee;
- cinematica del corpo rigido nel piano e nello spazio.

**4. Dinamica dei sistemi a più gradi di libertà.**

- dinamica dei sistemi a corpi rigidi (nel piano e nello spazio);
- equazioni cardinali della dinamica, principio di d'Albert, principio dei lavori virtuali (nel piano e nello spazio);
- bilancio di potenze (curve caratteristiche motore utilizzatore);
- determinazione soluzione a regime, valutazione della stabilità del regime, condizioni di transitorio;

**5. Vibrazioni.**

- sistemi a 1 grado di libertà: moto libero non smorzato, moto forzato, funzione di trasferimento armonico;
- sistemi a 2 gradi di libertà: moto libero non smorzato, approccio modale;
- sistemi a più gradi di libertà (cenni);

**6. Elementi finiti (cenni).****7. Gli organi delle macchine****8. Introduzione alla Meccanica dei robot.**

- cinematica del robot: matrici di rotazione e matrici di trasformazioni omogenee, rappresentazione di Denavit-Hartenberg;
- Il problema della cinematica diretta (posizione estremità del robot) ed inversa;

**9. La macchina controllata (cenni).***Esercitazioni*

Consistono in esercizi applicativi di cinematica, dinamica delle macchine e applicazioni semplici di robotica. Le esercitazioni potranno essere svolte con l'ausilio del calcolatore.

*Libri consigliati*

- AA.VV.: *Appunti di Meccanica Applicata alle Macchine*, Ed. Spiegel, 1990.  
 R. Ghigliazza, C.U. Galletti: *Meccanica Applicata alle Macchine*, ed. UTET, 1986.  
 G. Diana, F. Cheli: *Dinamica e vibrazioni dei sistemi meccanici*, ed. UTET, 1993.  
 K. Fu, R. Gonzales, C.S. Lee: *Robotica*, Me Graw Hill, 1989.  
 O. Sesini: *Meccanica Applicata alle Macchine*, ed. C.E.A., Milano.

**MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE****000002**

(per allievi in Ingegneria Meccanica)

**Proff. Emilio MASSA, Bruno PIZZIGONI***Programma d'esame***Generalità sulle macchine.**

Componenti fondamentali della macchina: motore, trasmissione, utilizzatore, organi ausiliari. Curve caratteristiche, adattamento fra motore e utilizzatore. Regime transitorio.

Azioni scambiate tra membri solidi, e tra solidi e fluidi, nel funzionamento di una macchina.

**Forze agenti nelle macchine.**

**a) Forze agenti tra membri solidi.** Forze d'attrito: aderenza e strisciamento; usura, ipotesi del logoramento; innesti a frizione e frèni.

Rotolamento e microscorrimento: forze di contatto e attrito volvente; cuscinetti a rotolamento, ruota e rotaia, pneumatici, organi flessibili.

Urto.

**b) Forze agenti tra fluidi e solidi.** Azioni fluidodinamiche, strato limite. Coefficienti di resistenza, portanza, coppia. Distacco di vena, formazione di vortici. Effetti del moto ondoso e della comprimibilità.

**c) Forze agenti con l'interposizione di lubrificante.** Diversi tipi di lubrificazione: limite, media, naturale, forzata, e per accostamento. Lubrificanti liquidi: untuosità, viscosità, effetto della temperatura; additivi.

Teoria della lubrificazione idrodinamica: forze generate dal fluido, equazione di Reynolds, condizione di equilibrio della coppia lubrificata portante e spingente; elasticità e smorzamento del film lubrificante.

Verifiche: carico sopportabile, coefficiente di attrito mediato; applicazioni al pattino piano, al perno-cuscinetto, portante, ai cuscinetti Micheli.

#### **Sistemi ad un grado di libertà.**

**a) Cinematica e dinamica di una macchina con un grado di libertà.** Bilancio energetico, flusso diretto e retrogrado della potenza, rendimento della trasmissione. Equilibrio dinamico, forze e inerzie ridotte. Equilibramento.

Equazione generale del moto, integrali particolari, moto a regime. Autovettura, apparecchi di sollevamento.

Dinamica del regime periodico: irregolarità del moto, dimensionamento di motore e volano.

Linearizzazione dell'equazione di movimento; stabilità del regime e piccoli moti (vibratori) nell'intorno delle condizioni di regime.

Funzioni di trasferimento e cenni di regolazione.

**b) Cinematica e dinamica di meccanismi con un grado di libertà.** Tipologia degli accoppiamenti cinematici, catene cinematiche e meccanismi. Meccanismi a camma e meccanismi articolati: vantaggi e svantaggi funzionali, analogie.

Analisi di posizione, velocità, accelerazione in meccanismi articolati piani: quadrilatero, manovellismo ordinario e sue inversioni (glifi), croce di Malta; notazione vettoriale e complessa. Cenni a procedimenti di sintesi cinematica.

Analisi e sintesi di meccanismi a camma: differenti tipologie, leggi di moto, costruzione del profilo; forze di contatto e dimensionamento della molla di contrasto.

Rotismi, giunti, viti di manovra: tipologia ed analisi.

**c) Vibrazioni meccaniche a un grado di libertà.** Sistemi vibranti a un grado di libertà; studio del modello fondamentale con massa, molla, smorzatore e forzante. Eventuale riduzione a tale modello: parametri equivalenti, in particolare smorzamento equivalente. Pulsazione propria. Smorzamento critico. Risonanza.

Vibrazioni autoeccitate. Fondazioni rigide e sospese. Sismografo e accelerometro.

#### **Sistemi con più gradi di libertà.**

Sistemi vibranti a più gradi di libertà: frequenze proprie e modi principali di vibrare; moto forzato, approccio diretto e modale, smorzamento.

Instabilità da film d'olio; velocità critiche torsionali e flessionali.

Sistemi multicorpo (fac.): definizioni, matrici di trasformazione delle coordinate.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nello svolgimento con metodi numerici e grafici di problemi applicativi.

*Modalità d'esame*

L'esame orale può essere preceduto da una prima domanda scritta.

L'allievo è tenuto a presentare alla commissione esaminatrice le esercitazioni svolte durante l'anno, che potranno essere oggetto di domande in accordo con il programma. Coloro che non presentino esercitazioni in misura sufficiente dovranno svolgere preliminarmente un esercizio scritto su temi analoghi a quelli delle esercitazioni.

*Libri consigliati*

Appunti di: *Meccanica applicata alle macchine* per allievi meccanici, ed. Spiegel (senza indicazione dell'autore).

O. Sesini: *Meccanica Applicata alle Macchine*, ed. C.E.A., Milano.

F. Giordana: *Lezioni di Meccanica delle Macchine* ed. Spiegel, 1991.

R. Riva: *Guida alla risoluzione dei temi d'esame di Meccanica Applicata alle Macchine*, ed Spiegel, 1987.

E. Funaioli, A. Maggiore, U. Meneghetti: *Lezioni di Meccanica Applicata alle Macchine*, ed.

Pàtron, Bologna 1987, 1988.

S. Doughty: *Mechanics of Machines*, ed. J. Wiley & Sons, New York, 1988.

**MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE****000002**

(per allievi in Ingegneria Nucleare)

**Prof. Franco GIORDANA**

*Programma d'esame***1) Studio del comportamento delle macchine per la generazione, trasmissione e utilizzazione di potenza.**

Macchine elementari: moltiplicatori di sforzi, comportamento quasi statico. - Macchine motrici e utilizzatrici: lavoro, potenza, curve caratteristiche. - Accoppiamento diretto fra motore e utilizzatore: determinazione della velocità di regime. - Velocità di funzionamento ottimale, adattamento delle velocità, trasmissioni. - Regolazione della velocità di regime. - Effetto delle masse in moto vario, regime periodico e assoluto. - Transitori di avviamento e di arresto, accelerazione massima e tempo di avviamento. Regolazione del transitorio: volano e freno. - Stabilità della velocità di regime. - Effetto delle dissipazioni: rendimento della trasmissione, moto diretto e retrogrado, arresto spontaneo.

**2) Analisi delle principali cause di dissipazione di energia.**

Attrito secco, leggi di Coulomb, natura del contatto fra superfici non lubrificate. Momento d'attrito in cuscinetti portanti e spingenti, ipotesi di Reye sull'usura. - Resistenze al rotolamento, attrito volante e aderenza, verifica allo strisciamento. - Utilizzo dell'attrito radente: freni e frizioni. - Utilizzo dell'aderenza per la trasmissione del moto: ruote di frizione e trasmissione a cinghia. - Cenni sulle resistenze del mezzo. - Metodi per la riduzione delle resistenze di strisciamento: lubrificazione untuosa e idrodinamica. Cuscinetti lubrificati e cuscinetti voi venti.

**3) Macchine per la trasformazione del movimento.**

Membri dei meccanismi e coppie cinematiche. Coppie cinematiche elementari. - Sistemi articolati piani: calcolo delle velocità, centri di istantanea rotazione del moto assoluto e relativo, rapporto di trasmissione generalizzato. - Bilancio di potenze nel comportamento ideale di meccanismi lenti, determinazione del coefficiente di moltiplicazione dello sforzo. - Meccanismi veloci: effetto delle forze d'inerzia. Calcolo delle accelerazioni nei sistemi articolati piani. Equazione del bilancio di potenze nei meccanismi veloci. Problema dinamico e pseudodinamico. Cenni sulle tecniche di in-

tegrazione numerica. - Meccanismi con coppie cinematiche superiori: camme piane. Analisi cinematica delle camme. - Sintesi dei meccanismi, posizione del problema. Esempi elementari di sintesi: camme e ingranaggi.

#### **4) Comportamento delle macchine in presenza di organi deformabili: vibrazioni.**

Vibrazioni libere e forzate di sistemi a 1 grado di libertà. Frequenza naturale e risonanza, curve di risposta a forzante armonica. - Calcolo della frequenza naturale: scrittura dell'equazione di moto e metodi energetici. Instabilità. - Soluzioni approssimate, metodo di Reyleigh. - Effetto dello smorzamento viscoso. Soluzione dell'equazione tramite i numeri complessi e interpretazione vettoriale. - Determinazione del coefficiente di smorzamento: decremento logaritmico ed energia dissipata in risonanza. - Analisi delle principali cause di eccitazione. - Misura e isolamento delle vibrazioni. - Cenni sulle vibrazioni non lineari. - Sistemi a più gradi di libertà. Scrittura delle equazioni col metodo di Lagrange e loro linearizzazione. - Utilizzo del formalismo matriciale, proprietà delle matrici elastiche e inerziali e loro dipendenza dalla scelta del sistema di coordinate. Diagonalizzazione delle matrici. - Frequenze naturali e modi principali di vibrare, loro determinazione: metodo diretto e metodo iterativo. - Sistemi con collegamenti in serie, metodo di Holzer. - Ortogonalità dei modi principali di vibrare e coordinate principali. - Introduzione dello smorzamento e delle forzanti esterne. - Vibrazioni in sistemi continui: funi e travi. Scrittura dell'equazione, frequenze naturali e modi principali. Condizioni al contorno e condizioni iniziali. Scrittura delle equazioni in coordinate ortogonali e introduzione dello smorzamento. - Estensione del metodo di Holzer: matrici di trasferimento.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nello sviluppo numerico di casi applicativi e nello svolgimento di esercizi sugli argomenti trattati nel corso delle lezioni.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

#### *Libri consigliati*

F. Giordana: *Lezioni di Meccanica delle Macchine*, ed. Spiegel.  
 E. Funaioli: *Lezioni di Meccanica Applicata alle Macchine*, ed. Pàtron.  
 W.T. Thomson: *Vibrazioni Meccaniche*, ed. Tamburini

#### *Libri ausiliari o di consultazione*

O. Sesini: *Meccanica Applicata alle Macchine*, ed. CEA  
 J. Hirshom: *Kinematics and Dynamics of plane Mechanisms*, ed. McGraw-Hill  
 G. H. Martin: *Kinematics and Dynamics of Machines*, ed. McGraw-Hill  
 O. Sesini: *Complementi di Meccanica Applicata alle Macchine*, ed. CEA  
 Meirovitch: *Elements of Vibration Analysis*, ed. McGraw-Hill  
 P. Srinivasan: *Mechanical Vibration Analysis*, ed. McGraw-Hill  
 W. Seto: *Sistemi Vibranti*, collana SHAUM - Esercizi

**MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE (1/2 annualità)****000892**

(per gli allievi in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Civile, Edile)

**Prof. Giancarlo CUSIMANO***Programma d'esame***1) Introduzione allo studio delle macchine**

Definizione di "macchina". Schema elementare di una macchina. Cenni storici sullo sviluppo delle macchine. Classificazione delle macchine. La progettazione funzionale delle macchine: cinematica applicata e dinamica applicata, obiettivi e metodi.

**2) La trasmissione del movimento e della forza nei meccanismi**

Membri delle macchine e coppie. Coppie cinematiche elementari e superiori. Accoppiamento di forma e di forza. Catene cinematiche e meccanismi. Gradi di libertà.

Caratteri geometrici e cinematici del contatto tra le superfici coniugate di una coppia.

Forze agenti negli accoppiamenti: superfici asciutte, aderenza, attrito radente, attrito volvente.

Accoppiamento di forma per la trasmissione del moto: ruote dentate.

Accoppiamento di forza per la trasmissione del moto: ruote di frizione e trasmissioni a cinghia.

Cuscinetti volventi.

Distribuzione della pressione di contatto: ipotesi di Reye.

Impiego dell'attrito radente: freni e frizioni.

Cenni sulla lubrificazione e sui cuscinetti lubrificati.

**3) Il comportamento delle macchine per la generazione, trasmissione e utilizzazione di potenza**

Macchine elementari: coefficiente di moltiplicazione degli sforzi e rapporto di trasmissione.

Effetto delle dissipazioni: rendimento della trasmissione, flusso di potenza diretto e retrogrado, arresto spontaneo.

Funzionamento a regime: determinazione della velocità di regime; adattamento delle condizioni di regime: scelta del rapporto di trasmissione; regolazione della velocità di regime.

Funzionamento in transitorio: avviamento, effetto del volano, innesto a frizione; frenatura: sistemi di frenatura; adattamento delle inerzie: scelta del rapporto di trasmissione.

**4) Macchine per la trasformazione del movimento**

Meccanismi articolati piani. Sintesi dei meccanismi articolati. Analisi dei meccanismi articolati: obiettivi e metodi.

Meccanismi a camme. Inversione cinematica. Sintesi delle camme.

**5) Le vibrazioni nelle macchine**

Origine delle vibrazioni nelle macchine. Problemi connessi con le vibrazioni.

Sistemi lineari ad 1 grado di libertà: vibrazioni libere e pulsazione propria; effetto dello smorzamento viscoso e determinazione del coefficiente di smorzamento equivalente; vibrazioni forzate e risposta in frequenza ad una forzante armonica; risonanza; metodo dei numeri complessi per la risposta in frequenza ed interpretazione vettoriale.

Attenuazione delle cause di vibrazione: equilibramento del rotore, equilibramento delle macchine alternative.

Trasmissione ed isolamento delle vibrazioni.

Macchine a regime periodico: effetto del volano.

Velocità critiche flessionali.

Sistemi lineari a più gradi di libertà: cenni sulle proprietà fondamentali e sui metodi di analisi.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nello svoglimento:

- di una prima serie di esercizi che consentono il richiamo delle leggi della Meccanica, già acquisite nei corsi di Fisica I e di Meccanica Razionale e di più comune impiego in Meccanica Applicata alle Macchine, e la loro applicazione in alcune macchine elementari;
- di una seconda serie di esercizi che consentono di applicare a macchine più complesse le conoscenze specifiche della materia.

Il contenuto e i fondamenti teorici ad esse relativi saranno oggetto di domande di esame.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta seguita da una prova orale.

*Libri consigliati*

Appunti di: *Meccanica Applicata alle Macchine e Macchine*, Parte I, ed. Spiegel, senza indicazione dell'autore.

F.Giordana, *Lezioni di Meccanica delle Macchine*, ed. Spiegel, 1991.

E.Funaioli, A.Maggiore, U.Meneghetti, *Lezioni di Meccanica Applicata alle Macchine*, ed. Patron, Bologna, 1987, 1988.

RRiva, *Guida alla risoluzione dei temi d'esame di Meccanica Applicata alle Macchine*, ed. Spiegel, 1987. Dispense integrative.

**MECCANICA DEGLI AZIONAMENTI****BN0004****Prof. Giancarlo CUSIMANO***Programma d'esame***1. LA PROGETTAZIONE DEL MOVIMENTO.**

Il problema della generazione e del controllo del movimento nelle macchine. Funzionamento a velocità costante. Funzionamento per cicli di lavoro. Funzionamento con asservimento.

Vari tipi di azionamento e loro caratteristiche principali.

Confronto fra i vari tipi di azionamento.

Il problema della determinazione delle leggi di moto.

**2. AZIONAMENTI MECCANICI.**

Le curve caratteristiche. Generatori di velocità, generatori di coppia, curve caratteristiche. Accoppiamento diretto motore-utilizzatore, moto a regime, funzionamento nei quattro quadranti. Trasmissioni meccaniche, stabilità del regime.

Dispositivi di avviamento e frenatura. I problemi di avviamento e frenatura dei motori.

Caratteristiche d'impiego del motore asincrono a gabbia.

Caratteristiche meccaniche del carico, casi tipici, determinazione sperimentale di curve caratteristiche e momenti d'inerzia.

Riduttori di velocità, scelta del rapporto di trasmissione, rendimento.

Trasformazione del moto rotatorio in traslatorio e viceversa: soluzioni tipiche.

Innesti a frizione. Variatori e cambi di velocità.

**3. AZIONAMENTI ELETTRICI.**

Caratteristiche funzionali d'impiego dei motori elettrici: asincrono, eccitazione in serie, separata, a magneti permanenti; brushless, passo passo.

Freni e frizioni elettromagnetici e giunti a correnti parassite.

Sensori e trasduttori.

Dispositivi di pilotaggio e di controllo.

#### **4. AZIONAMENTI PNEUMATICI.**

Attuatori pneumatici: cilindri e relative regolazioni.

Valvole pneumatiche, coefficienti di valvole.

Principi di algebra logica. Elementi pneumatici logici.

Sistemi oleopneumatici.

Tecniche di controllo digitali: sequenziatori, contatori, programmatori a fase, microprocessori.

Diagrammi funzionali: movimenti-fasi, grafcet, gemma.

Elementi di interfaccia, elettrovalvole e sistemi elettropneumatici.

Sensori ed elementi di fine corsa.

Modellazione e comportamento dinamico dei sistemi pneumatici.

Applicazioni: sistemi digitali con sequenziatori, controllori programmabili PLC, microprocessori.

#### **5. AZIONAMENTI IDRAULICI.**

Componentistica di base. Componenti per servocomandi.

Circuiti oleodinamici nei processi di automazione.

Idrostatica applicata ai veicoli.

#### *Libri consigliati*

Verranno distribuiti appunti delle lezioni, assieme ad una bibliografia relativa ai vari argomenti trattati.

## **MECCANICA DEI FLUIDI**

**AU0006**

(per gli allievi di Ingegneria Chimica e Nucleare)

**Prof. Giancarlo ALFONSI**

#### *Programma d'esame*

**Concetti fondamentali.** I fluidi come sistemi continui. Classificazione dei fluidi. Proprietà fisiche dei fluidi. Tipi di moto. Regimi di movimento. Punti di vista Lagrangiano ed Euleriano. Sistemi e volumi di controllo.

**Statica dei fluidi.** Equazione della statica in forma differenziale. Distribuzione delle pressioni. Misura delle pressioni Equazione di equilibrio statico in forma integrale. Spinte su superfici piane orizzontali e inclinate. Spinte su superfici di forma qualsiasi.

**Cinematica dei fluidi.** Campo cinematico. Ottica Lagrangiana ed Euleriana. Traiettorie, linee di corrente, linee di emissione. Derivata sostanziale. Scomposizione del moto nell'intorno di un punto. Funzione di corrente. Funzione potenziale. Condizioni di Cauchy-Riemann. Vorticità. Circolazione. Scomposizione cinematica del campo di moto.

**Principi di conservazione in forma differenziale.** Forma differenziale del principio di conservazione della massa. Equazione di continuità. Forma differenziale del principio di conservazione della quantità di moto. Equazione di Navier-Stokes. Forma differenziale del principio di conservazione dell'energia. Parte meccanica e parte termica dell'equazione dell'energia in forma differenziale.

**Principi di conservazione in forma integrale.** Forma integrale dei principi di conservazione di massa, quantità di moto ed energia. Spinte dinamiche. Principio di conservazione del momento della quantità di moto.

**Analisi dimensionale e similitudine.** Principio di omogeneità dimensionale. Teorema di Buckingham. Gruppi adimensionali. Resistenza e portanza. Nozione di similitudine. Criteri di similitudine. Forma adimensionale del sistema delle equazioni del moto dei fluidi reali.

**Dinamica della vorticità.** Equazione della vorticità in forma differenziale e integrale. Diffusione di vorticità. Produzione di vorticità alla parete. Vortice sferico di Hill.

**Moto dei fluidi ideali incomprimibili.** Caratteristiche del campo di moto. Equazione di Eulero. Integrale di Bernoulli. Equazione di Laplace in termini di potenziale e funzione di corrente. Potenziale complesso. Casi elementari di moti a potenziale. Moti che derivano dalla combinazione di casi elementari. Teorema di Kutta-Jukowski. Effetto Magnus. Trasformazioni conformi. Trasformazione di Jukowski. Condizione di Kutta.

**Moti che rappresentano soluzioni esatte delle equazioni di Navier-Stokes.** Classificazione delle soluzioni. Moti di Couette. Moto fra due lastre piane parallele. Moto fra due cilindri rotanti concentrici. Moti governati dalla pressione in condotte con sezione di forma diversa. Soluzione di Hagen-Poiseuille per la condotta a sezione circolare.

**Moto dei fluidi reali incomprimibili a bassi valori del numero di Reynolds.** Caratteristiche del campo di moto. Equazione di Stokes. Moto di Stokes attorno ad una sfera. Moto di Stokes attorno a sfere fluide. Moto di Stokes attorno a particelle di forma arbitraria. Moto di Stokes in meati a sezione variabile. Equazione di Reynolds per la lubrificazione. Campo di moto in prossimità di un cilindro circolare. Equazione di Oseen.

**Moto dei fluidi reali incomprimibili a valori intermedi del numero di Reynolds.** Caratteristiche del campo di moto. Moto nella zona di ingresso in una serie di lastre piane parallele. Soluzione bidimensionale discreta in termini di vorticità e funzione corrente. Soluzione in termini di pressione. Moto intorno ad un cilindro e ad una sfera. Variazione del coefficiente di resistenza con il numero di Reynolds.

**Moto dei fluidi reali incomprimibili ad alti valori del numero di Reynolds.** Caratteristiche del campo di moto. Corrente principale non viscosa e strato limite alla parete. Campo delle pressioni risultante.

**Strato limite.** Soluzione di Blasius per il moto su una lastra piana. Spessore di spostamento e di quantità di moto. Equazione integrale di Von Karman. Metodo approssimato di Karman-Pohlhausen. Strato limite attorno a corpi snelli. Strato limite attorno al profilo di Jukowski. Separazione dello strato limite. Getti e scie.

**Stabilità idrodinamica.** Modi normali come perturbazioni. Instabilità di Kelvin-Helmholtz. Equazione di Orr-Sommerfeld. Equazione di Rayleigh. Instabilità di Taylor del flusso di Couette. Stabilità delle regioni ad alto contenuto di vorticità.

**Turbolenza.** Caratteristiche del campo di moto. Transizione alla turbolenza. Scomposizione di Reynolds. Intensità della turbolenza. Energia cinetica turbolenta. Profili di velocità in moto turbolento. Spettro dell'energia. Chiusura delle equazioni di Navier-Stokes. Tensore degli sforzi di Reynolds. Modelli di turbolenza.

**Moto nelle condotte in pressione.** Distribuzione della pressione. Estensioni del teorema di Bernoulli. Moto uniforme e moto permanente. Perdite di carico continue. Formula di Colebrook-White. Abaco di Moody. Formule pratiche. Perdite di carico localizzate. Dispositivi di strozzamento. Calcolo di una condotta. Correnti in depressione. Problemi relativi allo schema di lunga condotta.

**Introduzione al moto dei fluidi polifase.** Sistemi bifase gas-liquido. Sistemi bifase gas-solido. Estensione delle formule per la valutazione delle perdite di carico.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in due prove scritte nel corso del semestre e in una prova orale finale.

*Libri consigliati*R.L. Panton: *Incompressibleflow*. (Wiley Interscience)R. A. Granger: *Fluid Mechanics*. (Holt, Rinehart & Winston)G. Alfonsi, E. Orsi: *Problemi di Idraulica e Meccanica dei Fluidi* (Casa Editrice Ambrosiana)

Appunti dalle lezioni.

**MECCANICA DEI FLUIDI****AI0001**

(per gli allievi di Ingegneria Meccanica)

**Proff. Giovanni MENDUNI, Maria Giovanna TANDA***Programma d'esame*

**1. Generalità sullo studio della meccanica dei fluidi.** Posizione del problema, comportamento *fluido e solido* dei materiali in relazione alla scala temporale dell'osservazione sperimentale, il numero di Deborah, il modello di Maxwell.

**2. Richiami di meccanica dei sistemi continui.** Modello matematico di sistema continuo: lo spazio euclideo  $E^3$ , densità di massa, scale spaziali e temporali. Quietè e moto: quantità di moto, velocità, moto uniforme e permanente, portata volumetrica, energia cinetica. L'approccio euleriano all'analisi del moto: la derivata sostanziale, il teorema di trasporto e relativi corollari. Conservazione della massa: equazione di continuità in forma cardinale ed indefinita, prime applicazioni. Forze esterne sui sistemi continui: forza specifica di massa, forza specifica di superficie. I postulati della meccanica classica: le equazioni del moto in forma cardinale. Il tensore delle tensioni: stato tensionale, tensione normale e tangenziale, teorema di Cauchy. Le equazioni del moto in forma indefinita o locale: derivazione ed osservazioni.

**3. Fluidi in quiete.** Pressione, moduli di comprimibilità, equazioni indefinite della statica, equazione costitutiva di fluido in quiete. Equazioni di stato, fluidi isotermi, isocori, barotropici. Statica dei fluidi nel campo gravitazionale, carico piezometrico, legge di Pascal, piano delle pressioni nulle. Forze idrostatiche contro superfici piane e gobbe chiuse ed aperte.

**4. Cinematica dei sistemi continui.** Accelerazione, traiettorie, linee di corrente, linee di emissione, i potenziali di Stokes, moti irrotazionali, moti piani. Analisi della velocità delle deformazioni infinitesime: il tensore dei gradienti di velocità, velocità di traslazione, rotazione, deformazione.

**5. Dinamica dei fluidi ideali.** Modello di fluido ideale, equazione costitutiva dei fluidi ideali, equazione di Eulero, il teorema di Bemoulli. Primo principio della termodinamica: energia interna, lavoro, quantità di calore, conservazione dell'energia. Stime dell'energia usando il teorema di Bemoulli. Applicazioni del teorema di Bemoulli: venturimetri, tubo di Pitot, cenni di foronomia. Limitazioni imposte dal modello di fluido ideale: l'analisi puntuale del moto usando l'equazione di Eulero. Portanza, teorema di Rutta e Joukowski.

**6. Dinamica dei fluidi viscosi.** Modello di fluido stokesiano e newtoniano, coefficienti di viscosità. Equazioni di Stokes-Navier, condizioni al contorno. Analisi puntuale del moto usando l'equazione di Navier: integrazione sui domini elementari, moto in tubi cilindrici, la cadente piezometrica, distribuzione delle velocità. Il moto tra lastre parallele, cilindri concentrici con flusso assiale e radiale. Cenni sui metodi numerici per l'integrazione. Equazione di Navier in forma *ridotta*: generalità sulla lubrificazione, il cuscinetto di spinta, l'accoppiamento albero rotante-boccola fissa. Teoria classica della filtrazione ed applicazioni di tipo industriale.

**7. Moto turbolento.** Esperienza di Reynolds, caratteristiche fenomenologiche del moto, scale spaziali e temporali della turbolenza. Metodologie sperimentali per l'osservazione della turbolenza, cenni sulle principali tecniche di misura, cenni di anemometria laser e richiami di analisi del se-

gnale. Modello di moto turbolento medio: valori medi e fluttuanti delle grandezze, le equazioni indefinite di continuità e del moto per il moto turbolento medio. Il tensore degli sforzi turbolenti di Reynolds. Aspetti del moto turbolento medio: distribuzione della velocità: nucleo della corrente e zona di parete, condizione di aderenza, distribuzione delle tensioni tangenziali, primi cenni alle leggi di resistenza in moto turbolento.

**8. Analisi globale del moto.** Equazione globale di continuità, derivazione del teorema della quantità di moto. Correnti e vene rettilinee: distribuzione della velocità e della pressione sulle sezioni normali, problemi di efflusso. Applicazioni del teorema della quantità di moto: spinta di un getto contro una lastra piana ed inclinata, macchine ad azione, turbina Pelton, spinta su curve, convergenti e divergenti, brusco allargamento di sezione, mulinello, cenni di propulsione a getto, calcolo elementare della spinta di esoreattori ed endoreattori.

**9. Strato limite.** Posizione del problema e generalità. Lastra piana: stato limite laminare e turbolento. Strato limite in presenza di gradienti di pressione, separazione, resistenza del cilindro e della sfera, coefficienti di resistenza e di portanza di profili immersi in una corrente. Cenni alle tecniche di controllo dello strato limite, flaps, slats, aspirazione.

**10. Moto uniforme nelle condotte.** La distribuzione delle tensioni tangenziali per un condotto cilindrico, raggio idraulico, perdite di carico, formula di Darcy-Weisbach, il coefficiente di resistenza distribuita. Derivazione delle leggi di resistenza in moto laminare e turbolento: esperienze di Nikuradse, leggi asintotiche di tubo liscio e scabro. Leggi di resistenza nei tubi commerciali: esperienze di Colebrook-White, legge di Colebrook, abaco di Moody, applicazioni di calcolo.

**11. Moto permanente nelle condotte.** Perdite distribuite nei convergenti e nei divergenti, vari tipi di perdite concentrate. Problemi di verifica e di progetto. Condotte in depressione: sifone, problemi tecnologici legati alla cavitazione, esempi ed applicazioni.

**12. Moto vario delle correnti in pressione.** Ipotesi e derivazione delle equazioni di continuità e del moto, coefficiente di ragguglio della quantità di moto. Impianti idroelettrici a caduta e ad acqua fluente; cenni sugli impianti di pompaggio e sulle macchine reversibili. Il problema della regolazione ed analisi dei fenomeni di moto vario che ne conseguono. Oscillazioni di massa: il moto vario in un tubo ad U. Oscillazioni di massa nel sistema pozzo piezometrico-galleria in pressione. Le casse d'aria: fenomeni di moto vario negli impianti di pompaggio, problemi di progetto. Il colpo d'ariete: funzioni che si propagano sul dominio  $(s,t)$ , celerità di propagazione, posizione delle ipotesi e deduzione delle equazioni semplificate del moto vario. Sistema condotta + serbatoio + otturatore: trattazione classica secondo Allievi, celerità di propagazione, durata di fase e tempo di transito. Integrazione del sistema differenziale semplificato, condizioni al contorno. Manovre brusche e lente: formula di Joukowski e formula di Michaud.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni, non obbligatorie ma vivamente consigliate, riguardano lo sviluppo di esercizi sulla materia svolta nelle lezioni.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale preceduta da una prova scritta non eliminatória: le due prove devono essere sostenute nel medesimo appello.

### *Libri consigliati*

E. Marchi, A. Rubatta: *Meccanica dei fluidi*, UTET, Torino, 1981.

D. Citrini, A. Nosedà: *Idraulica*, CEA, Milano, 1987.

A. Ghetti: *Idraulica*, Cortina, Padova, 1977.

**MECCANICA DEI FLUIDI + MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE 000835**

(per allievi di Ingegneria Biomedica)

**Proff Alberto ZASSO, Giancarlo ALFONSI***Programma d'esame (Meccanica dei Fluidi)*

**Concetti fondamentali.** I fluidi come sistemi continui. Classificazione dei fluidi. Proprietà fisiche dei fluidi: densità, peso specifico, viscosità, tensione superficiale, risalita capillare. Tipi di moto. Regimi di movimento. Punti di vista Lagrangiano ed Euleriano. Sistemi e volumi di controllo.

**Statica dei fluidi.** Equazione della statica in forma differenziale. Distribuzione delle pressioni. Misura delle pressioni Equazione di equilibrio statico in forma integrale. Spinte su superfici piane orizzontali e inclinate. Spinte su superfici di forma qualsiasi.

**Cinematica dei fluidi.** Campo cinematico. Ottica Lagrangiana ed Euleriana. Traiettorie, linee di corrente, linee di emissione. Derivata sostanziale. Scomposizione del moto nell'intorno di un punto. Funzione di corrente. Funzione potenziale.

**Principi di conservazione in forma differenziale.** Forma differenziale del principio di conservazione della massa. Equazione di continuità. Forma differenziale del principio di conservazione della quantità di moto. Equazione di Navier-Stokes.

**Principi di conservazione in forma integrale.** Forma integrale dei principi di conservazione di massa e quantità di moto. Spinte dinamiche. Principio di conservazione del momento della quantità di moto.

**Analisi dimensionale e similitudine.** Principio di omogeneità dimensionale. Teorema di Buckingham. Gruppi adimensionali. Resistenza e portanza. Nozione di similitudine. Criteri di similitudine. Forma adimensionale del sistema delle equazioni del moto dei fluidi reali.

**Moto dei fluidi ideali incomprimibili.** Caratteristiche del campo di moto. Equazione di Eulero. Integrale di Bernoulli. Equazione di Laplace in termini di potenziale e funzione di corrente. Potenziale complesso. Casi elementari di moti a potenziale. Moti che derivano dalla combinazione di casi elementari.

**Moto dei fluidi reali incomprimibili a bassi valori del numero di Reynolds.** Caratteristiche del campo di moto. Equazione di Stokes. Moto di Stokes attorno ad una sfera. Moto di Stokes attorno a sfere fluide. Moto di Stokes attorno a particelle di forma arbitraria. Moto di Stokes in meati a sezione variabile. Equazione di Reynolds. Campo di moto in prossimità di un cilindro circolare. Equazione di Oseen.

**Moto dei fluidi reali incomprimibili a valori intermedi del numero di Reynolds.** Caratteristiche del campo di moto. Moto nella zona di ingresso in una serie di lastre piane parallele. Soluzione bidimensionale discreta in termini di vorticità e funzione corrente. Soluzione in termini di pressione. Moto intorno ad un cilindro e ad una sfera. Variazione del coefficiente di resistenza con il numero di Reynolds.

**Strato limite.** Soluzione di Blasius per il moto su una lastra piana. Spessore di spostamento e di quantità di moto. Separazione dello strato limite.

**Turbolenza.** Caratteristiche del campo di moto. Transizione alla turbolenza. Scomposizione di Reynolds. Tensore degli sforzi di Reynolds.

**Moto nelle condotte in pressione.** Distribuzione della pressione. Estensioni del teorema di Bernoulli. Moto uniforme e moto permanente. Perdite di carico continue. Formula di Colebrook-White. Abaco di Moody. Formule pratiche. Perdite di carico localizzate. Dispositivi di strozzamento. Calcolo di una condotta. Correnti in depressione.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale finale.

*Libri consigliati*

R.L. Panton, *Incompressible flow*, Wiley Interscience

R. A. Granger, *Fluid Mechanics*, Holt, Rinehart & Winston

G. Alfonsi, E. Orsi, *Problemi di Idraulica e Meccanica dei Fluidi*, Casa Editrice Ambrosiana

*Appunti dalle lezioni*

*Programma d'esame (Meccanica Applicata alle Macchine)*

**Concetti fondamentali.** Descrizione di un sistema meccanico, dei campi di forze agenti in condizioni statiche e in condizioni dinamiche.

**Modellazione.** Modellazione di un sistema meccanico e delle forze agenti.

**Il modello a corpi rigidi.** Studio della statica, della cinematica e della dinamica dei sistemi di corpi rigidi: richiami di cinematica e determinazione delle azioni di inerzia; richiami sull'equilibrio dinamico e sui bilanci energetici; applicazioni all'equilibramento dei corpi rotanti e dei meccanismi articolati.

**Metodi matriciali.** Uso dei metodi matriciali per l'analisi cinematica dei sistemi articolati nello spazio. Applicazione dell'equazione di Lagrange all'analisi dinamica dei sistemi articolati: esempi della meccanica dei robot.

**Profili coniugati.** Definizioni ed esempi: articolazione del ginocchio, ingranaggi.

**Forze di contatto.** Modelli di attrito e valutazioni energetiche comparate.

**Sistemi di trasmissione del moto.** Moto diretto e retrogrado, rendimento della trasmissione. Studio delle diverse condizioni di funzionamento di un sistema in movimento (regime assoluto e periodico, transitorio di avviamento e arresto) e cenni sulla regolazione della velocità e sulla stabilità del moto.

**Fondamenti delle vibrazioni meccaniche.** Moto libero, forzato e per eccitazione del vincolo di sistemi a 1 G.d.L.. Metodi di stima dello smorzamento. Isolamento delle vibrazioni. Esempi di instabilità dinamica. Cenni sui sistemi a più gradi di libertà.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale finale.

*Libri consigliati*

M. Nigg, W. Herzog, *Biomechanics of the Musculo-Skeletal System*, John Wiley & Sons 1994

M. Falco, M. Gasparetto, *Appunti di Meccanica Applicata alle Macchine*, Edizioni Spiegel 1994

B. Finzi, *Meccanica Razionale*, Zanichelli Bologna

G. Diana, F. Cheli, *Dinamica e Vibrazioni dei Sistemi Meccanici*, UTET

*Appunti delle Lezioni del Corso*, Segreteria Didattica Dip. Meccanica

**MECCANICA DEI MATERIALI**  
**Prof.ssa Laura VERGANI****AR0112***Programma d'esame***IN PRESENZA DI COMPORTAMENTO NON ELASTICO.****Legami sforzi-deformazioni indipendenti dal tempo:**

- dislocazioni, criteri di snervamento, superfici di snervamento nello spazio di Haigh-Westergaard;
- teoria incrementale delle deformazioni, equazioni di Prandtl-Reuss, flusso plastico associato a von Mises e Tresca;
- modelli di comportamento del materiale: perfettamente elastoplastico, con incrudimento, equazione di Ramberg-Osgood, effetto Bauschinger.

**Legami sforzi-deformazioni dipendenti dal tempo:**

- scorrimento viscoso, curve deformazioni-tempo, rilassamento, viscoelasticità lineare, viscoelasticità non lineare.

**IN PRESENZA DI CARICHI CICLICI.****Fatica a basso numero di cicli:**

- proprietà meccaniche: fenomeni di incrudimento e addolcimento, curve sforzi-deformazioni cicliche, ciclo di isteresi e definizione del lavoro plastico e totale, fenomeni microstrutturali;
- previsione della vita a fatica: curve deformazioni-numero di cicli, curve di Coffin-Manson, lavoro di deformazione plastica e totale e legame con la vita a fatica, influenza dell'intaglio, dello stato di sforzo composto, dello sforzo e della deformazione medi, del gradiente delle sollecitazioni e delle deformazioni, delle tensioni residue;
- nucleazione di cricche di fatica: fenomeni microstrutturali.

**IN PRESENZA DI DIFETTI.****Meccanica della Frattura Lineare Elastica MFLE:**

- analisi elastica dello stato di sforzo all'apice di una cricca, definizione del fattore di intensificazione degli sforzi  $K_h$ ,  $K_n$ ,  $K_m$ , definizione del fattore di intensificazione degli sforzi critico, effetto dello spessore e della temperatura, modalità di esecuzione delle prove per la determinazione della tenacità del materiale, criterio energetico e definizione dei parametri energetici, estensione della zona plasticizzata all'apice del difetto in stato di sforzo piano e stato di deformazione piana, limiti di validità della MFLE, fattore di intensificazione degli sforzi equivalente: modello di Dugdale e di Irwin;

**Meccanica della Frattura Elasto Plastica MFEP:**

- definizione dell'integrale J e delle sue proprietà, modalità di esecuzione della prova per la determinazione della tenacità del materiale, definizione del "crack tip opening displacement" CTOD.

**Propagazione dei difetti a fatica:**

- meccanismi di propagazione dei difetti, legge di Paris, influenza del fattore  $R=K_{min}/K_{max}$ , legge di Walker, legge di Forman, influenza dello spessore e della temperatura, propagazione in presenza di carichi ad ampiezza variabile, modello di Wheeler, influenza delle tensioni residue e condizione di non propagazione, propagazione in presenza di stato composto di sforzo.

**Applicazione della MFLE alla sicurezza delle strutture fessurate**

- controlli non distruttivi, controlli periodici, identificazione del difetto, caratterizzazione del materiale, accettabilità del difetto secondo la normativa inglese e quella americana.

**MATERIALI COMPOSITI.****Caratterizzazione:**

- definizione dei compositi secondo la matrice (metallica, polimerica e ceramica), del rinforzo (metallico, polimerico e ceramico), caratteristiche meccaniche a temperatura ambiente, bassa ed elevata;

- definizione del composito a seconda dell'elemento rinforzante (a fibra lunga e a particelle), anisotropia, modulo di elasticità longitudinale e le altre caratteristiche meccaniche per i compositi a fibra lunga, laminati;
- comportamento dei compositi in presenza di carichi variabili e in presenza di difetti;
- criteri di cedimento;
- metodi di ottenimento.

#### *Esercitazioni*

Nelle esercitazioni saranno affrontati i vari argomenti del corso considerandone l'aspetto applicativo. Si prevedono esercitazioni di laboratorio ed esercitazioni con l'utilizzo dell'elaboratore. Si ritiene il Corso adatto allo sviluppo e presentazione di tesi e/o progetti di laurea.

#### *Libri consigliati*

G. Belloni, G. Bernasconi: *Sforzi deformazioni e loro legami*, CLUP, Milano.  
 B. Carlsson: *Experimental Characterization of Advanced Composite Materials*, Prentice-Hall, 1987.  
 A. Carpinteri: *Meccanica della Frattura e dei Materiali*, Pitagora Editrice, Bologna, 1992.  
 Autori vari: *Cyclic Deformation and Fatigue of Metals*, Ed. Matej Bily, Elsevier, 1993.  
 N.E. Dowling: *Mechanical Behavior of Materials*, Prentice-Hall International, New Jersey, 1993.

## **MECCANICA DEI MATERIALI E DELLA FRATTURA**

**AN0115**

**Prof. Giulio MAIER**

#### *Programma d'esame*

#### **PARTE I - Anelasticità e danneggiamento dei materiali strutturali.**

1. Comportamento elastoplastico dei principali materiali strutturali: indicazioni sperimentali e modelli costitutivi basilari. Postulato di Drucker.
2. Aspetti salienti del problema elastoplastico in termini incrementali. Proprietà fondamentale della soluzione. Particolari soluzioni "esatte".
3. Danneggiamento di materiali e di componenti strutturali inteso come degrado di rigidità e/o resistenza ("softening"): evidenze sperimentali e leggi costitutive per calcestruzzi e murature.
4. Comportamenti dipendenti dal tempo (viscosi): viscoelasticità lineare scorrimento viscoso ad alte temperature ("creep"); viscoplasticità.
5. Basi fisiche del comportamento anelastico dei materiali.
6. Biomateriali e biomeccanica delle strutture ossee: nozioni introduttive.
7. Fondamenti di identificazione parametrica per la calibrazione di modelli costitutivi.

#### **PARTE II - Meccanica della frattura.**

1. Nozioni basilari di meccanica della frattura elastico-lineare: approccio energetico; analisi tensionale; fattori di intensità degli sforzi. Verifiche di stabilità di difetti. Criteri di propagazione.
2. Il metodo degli elementi finiti in meccanica della frattura elastico-lineare: elementi normali e speciali. Metodi per elementi di contorno ("boundary elements").
3. Fenomeni di fatica: sintesi di osservazioni ed esperienze; leggi di Paris-Erdogan; criterio di Miner e varianti; influenza della temperatura e di ambienti corrosivi.
4. Frattura di materiali "quasi-fragili" lapidei (calcestruzzi, ceramici, laterizi, murature e certe rocce) interpretata con il "cohesive crack model". Comportamenti strutturali fragili e duttili: effetti scala.
5. Frattura elastoplastica in metalli. L'integrale J.. La soluzione di Hutchinson-Rice-Rosengren.

6. Aspetti meccanici e computazionali dei processi di frattura quasi-fragile e duttile: fenomeni di instabilità e di biforcazione.

### **PARTE III - Calcolo anelastico, statico e dinamico, per elementi finiti.**

1. Discretizzazione per elementi finiti (nello spazio) del problema elastoplastico incrementale quasi-statico.
2. Discretizzazione nel tempo: formulazione del problema nel passo finito. Tecniche risolutive del problema evolutivo anelastico quasi-statico.
3. Il problema elastoplastico incrementale dinamico. Discretizzazione nello spazio e nel tempo. Metodi iterativi di soluzione.
4. Dinamica veloce (esplosioni, urti, "crash"): metodi "espliciti"; comportamento dei materiali ad alte velocità di deformazione.

### **PARTE IV - Materiali strutturali a struttura interna periodica.**

1. Materiali compositi: motivazioni, rassegna di applicazioni, prospettive di sviluppo.
2. Legami costitutivi "in media" di compositi in campo elastico-lineare: anisotropie, metodi di omogeneizzazione.
3. Generalità sui problemi micromeccanici e meccanico-strutturali peculiari dell'analisi di strutture in composito agli stati-limite (frattura, delaminazione, rottura).
4. Omogeneizzazione in regime elastoplastico di materiali compositi fibro-rinforzati unidirezionali.
5. La muratura come materiale composito. Calcolo anelastico agli stati-limite di strutture murarie.

#### *Esercitazioni*

Nelle esercitazioni sono sviluppati complementi alle lezioni, vengono discusse tipiche applicazioni concrete di interesse pratico e sono tenuti seminari.

#### *Libri consigliati*

- J. Lemaitre, Chaboche, *Mechanics of solid Materials*, Cambridge University Press, 1990
- J. Lubliner, *Plasticity Theory*, Mcmillian Pubi. Co., New York, 1990.
- S. Kaliszky, *Plasticity: Theory and Engineering Applications*, Elsevier, 1989.
- J. Lemaitre, *A Course on Damage Mechanics*, McMillian, 1992.
- L. Corradi dell'Acqua, *Meccanica delle strutture*, Voi. 1 e 3, McGraw-Hill, 1992.
- D. Broek, *The Practical Use of Fracture Mechanics*, Kluwer, 1989.
- A. Carpinteri (a cura di), *Meccanica dei materiali e della frattura*, Pitagora, 1992.
- M. Z. Cohn, G. Maier, Eds., *Engineering Plasticity by Mathematical Programming*, Pergamon Press, 1979.
- Z. Bazant, L. Cedolin, *Stability of Structures*, Cambridge University press, 1991.
- O. C. Zienkiewicz, R. Taylor, *The Finite Element Method*, Voi. 2, McGraw-Hill, 1991
- P. K. Mallick, *Fiber-Reinforced Composites*, M. Dekker, Ine., 1988.

## **MECCANICA DEI ROBOT**

**AR0110**

**Prof. Alberto ROVETTA**

#### *Programma d'esame*

L'insegnamento intende sviluppare gli aspetti connessi con la meccanica delle macchine a controllo con calcolatore, in relazione ai processi dinamici, alle interazioni sensoriali, alla integrazione con la fabbrica ad alta automazione.

**MECCANICA IN ROBOTICA.****Introduzione.**

Tecnologia e scienza nella robotica. Caratteristiche dei robot. Integrazione dei robot nei sistemi di produzione. Il rapporto uomo/macchina. I telemanipolatori. Modelli geometrici, cinematici, dinamici, funzionali di robot.

**Meccanica dei robot.**

Configurazione sistemistiche. La meccanica nei robot: componenti meccanici, azionamenti, trasmissioni. Gradi di libertà. Morfologia e funzionalità delle estremità. Ridondanza nei robot. Teoria dei sistemi multicorpo. Meccanica dei sistemi rigidi e deformabili a più gradi di libertà.

**Cinematica dei robot.**

Coppie fondamentali nella trasmissione del moto. Sistemi di riferimento. Applicazioni delle trasformazioni matriciali nello studio della meccanica di un robot. Coordinate omogenee. Coordinate assolute, angoli di Eulero e angoli assoluti per l'estremità del robot. Cinematica diretta: posizione dell'estremità dei robot. Cinematica inversa: soluzioni analitiche e numeriche.

**Dinamica dei robot.**

Modello matematico per l'analisi dinamica di robot. Applicazione dei sistemi multicorpo. Equazioni di Lagrange. Equazioni di Newton-Eulero. Sintesi ed analisi dinamica per il moto di estremità di robot lungo traiettorie prefissate. Matematica simbolica a supporto delle soluzioni. Determinazione delle condizioni dinamiche nominali di funzionamento e valutazione dei fenomeni di transitorio.

**Funzionalità meccaniche dei robot.**

Analisi di funzionalità. Analisi dinamica e modellizzazione del processo. Progetto della struttura meccanica e del software di controllo. Integrazione di CAD e CAM nell'automazione avanzata e nella robotica.

**INTEGRAZIONE DEI ROBOT.****Applicazioni di robot.**

Robot di saldatura, di verniciatura, di montaggio, di manipolazione. Robot per applicazioni spaziali, sottomarine, nucleari, mediche, ecc.. Robot da laboratorio. Evoluzione dei robot e dei robot industriali. Costo del robot e costo del lavoro umano. Economia dei robot in relazione alle prestazioni. I robot e l'ambiente di lavoro. Affidabilità dei robot. Manutenzione dei robot. Sicurezza nell'applicazione dei robot. Integrazione dei robot nelle attuali strutture produttive.

**Approfondimenti di cinematica e dinamica dei robot.**

Impiego delle matrici di trasferimento per la definizione dello Jacobiano del sistema. Definizione dei punti di singolarità. Precisione di posizionamento dei robot. Valutazioni comparative dei metodi di calcolo con equazioni di Lagrange, Newton-Eulero e altri metodi misti di riferimento al calcolo numerico. Processi di iterazione e metodi numerici. Cinematica dei robot paralleli. Rendimenti delle trasmissioni e irreversibilità del moto. Fenomeni di instabilità dinamica dell'azionamento dei robot.

**I sensori.**

I sensori nei sistemi automatici. Sensorialità nei robot: sensori interni e esterni. Sensori e software. Integrazione dei sensori nel controllo dei robot.

**Controllo e programmazione di un robot.**

Strategie e soluzioni tecniche nel controllo di un robot. Schema del controllo. Modelli matematico-meccanici per il controllo. Programmazione di robot industriali. Programmazione in linea e fuori linea. Linguaggi nella robotica. Sistemi esperti nella robotica. Esempi di software nella robotica.

**Integrazione di sistemi nella robotica.**

Integrazione del calcolatore di controllo in rete CIM per la gestione completa del processo di automazione. FMS e robotica. Principi di telerobotica. Controllo vocale, analisi del linguaggio parlato. Sistemi di visione per la robotica: riconoscimento e interpretazione dell'immagine. Impiego di

sistemi a calcolo parallelo per l'azionamento di robot e sistemi automatici. Applicazione di principi di robotica in sistemi biomeccanici.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni sviluppano aspetti applicativi.

#### *Applicazioni di sistemi robotici.*

Mani meccaniche robotizzate. Robot a comando vocale. Protesi a controllo elettronico. Stazioni telerobotiche. Sistemi di visione e presa con calcolatori paralleli. Modellazione di robot. Sistemi esperti per il montaggio robotizzato. CAD per progettazione di robot.

#### *Libri consigliati*

K. Fu, R. Gonzales, C.S. Lee: *Robotica*, McGraw Hill, 1989.

M. Vukobratovic: *Introduction to Robotics*, ed. Springer, 1989.

R. Paul: *Robot Manipulator: Mathematics, Programming and Control*, MIT Press, Cambridge, 1981.

A. Rovetta: *Fondamenti di robotica*, ed. Hoepli, 1990.

A. Rovetta, E. Turci: *Robot senza miti*, ed. CLUP, 1987.

A. Rovetta: *On thè prehension of human hand*, in *Naturai Computation*, Ed. Richards, MIT Press, Cambridge, 1989.

R. Dorf: *Encyclopedia of Robotics*, Ed. J. Wiley, 1988.

## **MECCANICA DEL VOLO**

**AL0015**

**Prof. Marco BORRI**

#### *Programma d'esame*

#### **Classificazione dei velivoli.**

- Classi dei velivoli.
- Categorie delle fasi di volo.
- Livelli di qualità di volo.

#### **Richiami di Stabilità e Controllo dei Velivoli.**

- Condizioni di volo simmetrico: rettilineo e manovrato.
- Modello delle forze aerodinamiche a comandi bloccati e liberi.
- Condizioni di centraggio.
- Criteri di stabilità statica.
- Condizioni di volo asimmetrico.

#### **Il modello di corpo rigido.**

- Cinematica del moto rigido.
- Parametrizzazione delle rotazioni: angoli e parametri di Eulero.
- Problemi di navigazione: ricostruzione della traiettoria e dell'orientazione.
- Le Equazioni Cardinali.
- Interpretazione del teorema dell'energia: eccesso di potenza specifica.
- Le manovre stazionarie: trimmaggio e stabilità.
- Le manovre periodiche: trimmaggio e stabilità.

#### **Algoritmi di Simulazione.**

- Metodi di integrazione al passo.
- Metodi variazionali ed elementi finiti temporali.
- Stabilità e convergenza degli algoritmi di integrazione.

- Sistemi vincolati: vincoli olonomi ed anolonomi.

**Cenni all'identificazione dei velivoli.**

- Algoritmi di identificazione.
- Problematiche di misura.

**Controlli automatici di volo.**

- Componentistica: sensori ed attuatori.
- Sistemi di aumento di stabilità.
- Controllori di sistema.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

*Libri consigliati*

Nelson R.C. *Flight stability and Automatic Control*, Me Graw Hill Book Company 1989

Etkin B. *Dynamics of Atmospheric Flight*, John Wiley & Sons. Inc. 1972

Me Lean *Automatic Flight Control Systems* Prentice Hall 1990

Mangiacasale L. *Meccanica del volo atmosferico* Levrotto & Bella 1992

*Nota per gli studenti*

Alcuni degli argomenti sviluppati richiedono, per una migliore comprensione, l'aver preventivamente acquisito quanto svolto nel corso di "Automatica" che quindi viene vivamente raccomandato come precedenza consigliata.

**MECCANICA DEL VOLO SPAZIALE I**

**AL0115**

**Prof.ssa Amalia ERCOLI FINZI**

*Programma d'esame*

- Richiami di elementi di meccanica classica..
- Cenni di astronomia - sfera celeste - coordinate orizzontali, equatoriali, eclittiche - movimenti della terra - i principali pianeti del sistema solare - la luna.
- Campo gravitazionale terrestre.
- Introduzione alla meccanica analitica - principio di D'Alambert - equazioni di Lagrange - equazioni canoniche - trasformazioni canoniche - metodo di Jacobi-Hamilton.
- Problema fondamentale della meccanica celeste - il problema della perturbazioni e le variabili kepleriane.
- Problema dei due corpi - cenno al problema dei tre corpi - cenno alla teoria delle orbite - perturbazioni di un'orbita circolare - metodi di Cowell e Encke - moto orbitale perturbato.
- Dinamica impulsiva - principi fondamentali.
- Dinamica del corpo con massa variabile - moto di un razzo.
- Moti gravitazionali - velocità di fuga - messa in orbita - satellite sincrono - moto interplanetario.
- Moti con propulsione nel vuoto - stadi - trasferimenti orbitali passaggio iperbolico - rendez vous - sfere di influenza.
- Moti in atmosfera - cenni sul lancio e sul rientro.
- Moti dei velivoli spaziali - stabilità - despinaggio - piccoli spostamenti angolari.
- Determinazione dell'assetto di un veicolo spaziale.
- Effetti secondari - schiacciamento, rotazione e rivoluzione terrestre - influenza della luna.

- Parametri di influenza.
- Cenno sui viaggi interplanetari.
- Cenno su recenti indirizzi: i sistemi spaziali a filo.

*Modalità d'esame*

- L'esame consiste in una prova orale su alcuni argomenti del programma, e nello studio e risoluzione di piccoli problemi inerenti.

*Libri consigliati*

Appunti del corso.

Bianco, Me Cuskey: *Basic physics of the solar systems* - Addison Wesley

Finzi: *Meccanica razionale* - Zanichelli

Ball e Osborne: *Space Vehicle Dynamics* - Claredon Press

Kaplan: *Modern Spacecraft Dynamics & Control* - Wiley & Sons

**MECCANICA DEL VOLO SPAZIALE II**

**AL0101**

**Prof. Franco BERNELLI ZAZZERA**

*Programma d'esame*

**Moto angolare di un corpo rigido.**

Momento della quantità di moto - Tensore di inerzia - Energia cinetica di rotazione - Equazioni di Eulero - Moto spontaneo di un corpo rigido - Precessione, nutazione e librazione - Moto angolare di un corpo rigido con elementi posti in rotazione - Stabilità dell'assetto di satelliti a semplice e doppio spin - Coppia di gradiente di gravità - Dinamica e stabilità dell'assetto di satelliti rigidi soggetti a gradiente di gravità.

**Cinematica e parametrizzazione dell'assetto.**

Coseni direttori - Asse ed angolo di Eulero - Quaternioni - Vettore di Gibbs - Angoli di Eulero - Equazioni della cinematica dell'assetto.

**Dispositivi per il controllo d'assetto.**

Sensori di Sole - Sensori di orizzonte - Sensori di campo magnetico - Sensori di stelle, identificazione delle stelle - Strumenti giroscopici - Ruote di inerzia e di reazione - Gas jets - Magnetometri

**Controllo automatico dell'assetto.**

Richiami di teoria del controllo lineare - Determinazione dell'assetto - Misure di angoli tra satellite e corpi celesti - Misure di angoli tra due corpi celesti - Controllo d'assetto su 3 assi del puntamento a Terra di un satellite mediante ruote di inerzia - Controllo su 3 assi del puntamento inerziale di un satellite mediante attuatori a getto.

**Manovre d'assetto.**

Precessione del momento della quantità di moto per satelliti rigidi - Controllo dello spin mediante elementi dispiegabili - Strategie per l'esecuzione di grandi manovre - Manovre in tempo minimo - Manovre a consumo minimo - Manovre a minimo dispendio energetico

**Dinamica di sistemi spaziali a filo.**

Introduzione ai sistemi spaziali a filo - Equazioni della dinamica di sistemi con filo a lunghezza fissa - Dinamica con lunghezza del filo variabile - Oscillazioni dei corpi d'estremità.

*Libri consigliati*

- M.H. Kaplan: *Modern Spacecraft Dynamics and Control*, Ed. Wiley & Sons.  
J. Wertz: *Spacecraft Attitude Determination and Control*, D.Reidei Publishing Company.  
K. J. Ball, G.F. Osborne: *Space Vehicle Dynamics*, Clarendon Press.  
M.D. Griffin, J.R. French: *Space Vehicle Design*, AIAA Educational Series.  
B.Friedland: *Control System Design: an Introduction to State-Space Methods*, McGraw Hill.  
F.P.J. Rimrott: *Introductory Attitude Dynamics*, Springer-Verlag.

**MECCANICA DELLE ROCCE**  
**Prof. Giancarlo GIODA****AN0046***Programma d'esame***1. Introduzione.**

Definizione - Cenni storici - Connessioni tra la Meccanica delle Rocce e le altre discipline dell'Ingegneria Geotecnica - Concetti fondamentali di "Roccia" (roccia intatta intesa come materiale) e di "Ammasso Roccioso" (inteso come corpo discontinuo) - Genesi delle rocce e loro classificazione geologica - Mutamenti e degrado delle rocce.

**2. Il "materiale" roccia.**

Classificazione ingegneristica delle rocce - Prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche meccaniche delle rocce intatte - Fattori che influenzano i risultati delle prove di laboratorio: interazione tra campione e macchina di prova, rigidità della macchina di prova, disomogeneità dello stato di sforzo all'interno del campione, dimensioni del campione - Criteri di rottura - Influenza del tempo sul comportamento meccanico delle rocce - Influenza delle deformazioni sui parametri di rigidità e resistenza meccanica delle rocce - Anisotropia delle rocce.

**3. Ammassi rocciosi.**

Discontinuità presenti negli ammassi rocciosi: loro genesi e classificazione - Indici di qualità della roccia - Metodi della geologia strutturale per la descrizione geometrica delle discontinuità piane - Proprietà meccaniche delle discontinuità: prove in laboratorio ed in sito - Influenza delle discontinuità sul comportamento globale di ammassi rocciosi - Stato tensionale negli ammassi rocciosi, sua determinazione e sua influenza sulle opere di ingegneria.

**4. Opere superficiali in roccia e casi particolari di opere in terra.**

Opere superficiali in roccia - Fondazioni - Stabilità statica e dinamica dei pendii - Analisi di stabilità in campo bi- e tri-dimensionale - Cenni sulle dighe in terra - Analisi della filtrazione non confinata - Scavi aperti - Opere di sostegno - Illustrazione di alcuni casi.

**5. Opere profonde in roccia.**

Le gallerie e le aperture sotterranee - Determinazione dello stato di sforzo e di deformazione attorno a gallerie - Il metodo della curva caratteristica - Stabilità del fronte di scavo - Aperture sotterranee di grandi dimensioni - Opere di supporto degli scavi sotterranei - Influenza del moto di filtrazione delle acque sulla stabilità delle gallerie - Cenni sulle tecniche di scavo e di supporto delle gallerie, sui metodi di drenaggio e di consolidamento della roccia - Valutazione di cedimenti superficiali indotti da scavi sotterranei in terra e roccia - Importanza dell'Observational Design Method nel progetto e nell'esecuzione di opere in roccia - Illustrazione di alcuni casi.

**6. Metodi di calcolo automatico.**

L'impiego dei metodi degli elementi finiti e delle equazioni integrali di contorno nell'analisi di opere in roccia - Applicazione a problemi elastici lineari, elasto-plastici e visco-plastici - Analisi delle

discontinuità mediante elementi "di giunto" - Analisi di processi di scavo e costruzione incrementali - Illustrazione di alcuni casi - Cenni sui problemi di identificazione o "back analysis".

#### *Libri consigliati*

- K. G. Stagg, O.C. Zienkiewicz: *Rock Mechanics in Engineering Practice*, J. Wiley & Sons, 1969.  
 Z.T. Bieniawski: *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*, Balkema, 1984  
 J. C. Jaeger, N.G.W. Cook: *Foundamentals of Rock Mechanics*, Chapman and Hall, 1979.  
 L. Obert, W.I. Duvall: *Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock*, J. Wiley & Sons, 1967.  
 R.E. Goodman: *Methods of Geological Engineering in Discontinuos Rocks*, West Publishing Co., 1976.  
 R.E. Goodman: *Introduction to Rock Mechanics*, J. Wiley & Sons, 1980.  
 C. Jaeger: *Rock Mechanics and Engineering*, Cambridge University Press, 1979.  
 G.N. Pande, G. Beer, J.R. Williams: *Numerical Methods in Rock Mechanics*, J. Wiley & Sons, 1990.  
 E. Hoek, J.W. Bray: *Rock Slope Engineering*, Institution of Mining and Metallurgy, London, 1974.  
 E. Hoek, E.T. Brown: *Underground Openings in Rock*, Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980.  
 N. Cristescu: *Rock Rheology*, Kluwer Academic Publisher, 1989.  
 K. Szechy: *The Art of Tunneling*, Akademiai Kiado; Budapest, 1973.  
 G. Gioda: *Dispense di Meccanica delle Rocce*, Clup, Milano, 1981.

## **MECCANICA RAZIONALE**

**AP0011**

(per gli allievi di Ingegneria Aeronautica e Nucleare)

**Proff. Carlo CERCIGNANI, Maria LAMPIS**

#### *Programma d'esame*

- 1. Campi vettoriali.** - Generalità. Circolazione e flusso. Campi irrotazionali e solenoidali.
- 2. Cinematica.** - Gradi di libertà e coordinate libere. Spostamento di un punto e di un sistema; spostamenti rigidi finiti e infinitesimi; spostamento regolare infinitesimo. Spostamenti virtuali. Movimento di un punto e di un sistema. Velocità ed atto di moto. Atti di moto traslatorio, rotatorio, roto-traslatorio. Descrizione geometrica del moto rigido. Atto di moto di un sistema vincolato. Atto di moto virtuale. Accelerazione. Moto centrale e moto kepleriano. Distribuzione delle accelerazioni nel moto rigido. Cinematica relativa.
- 3. Statica.** - Statica del punto e dei sistemi di punti; reazioni vincolari; attrito. Sistemi equipollenti di forze. Baricentro. Statica dei corpi rigidi liberi e vincolati. Equazioni cardinali. Postulati della statica dei sistemi deformabili. Statica dei sistemi articolati. Statica dei fili e delle verghe. Statica dei continui tridimensionali deformabili: sforzi, relazione di Cauchy, equazioni indefinite. Statica dei fluidi. Principio dei lavori virtuali; equilibrio dei sistemi olonomi; equilibrio dei sistemi pesanti.
- 4. Dinamica fisica.** - Riferimenti. Leggi fondamentali della dinamica. Lavoro ed energia. Quantità meccaniche: momento d'inerzia, quantità di moto, momento delle quantità di moto, energia cinetica. Teoremi di conservazione. Equazioni cardinali della dinamica. Teorema dell'energia cinetica. Metodi dimensionali. Meccanica relativa.
- 5. Calcolo del movimento.** - Dinamica del punto materiale libero e vincolato; attrito dinamico. Dinamica del corpo rigido libero e vincolato; corpo rigido con asse fisso e con punto fisso. Postulati della dinamica dei sistemi. Principio di d'Alembert. Dinamica dei sistemi olonomi; equazioni di Lagrange. Stabilità dell'equilibrio e vibrazioni. Principio variazionale di Hamilton.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nella risoluzione di problemi attinenti agli argomenti del corso.

*Modalità d'esame*

L'esame comporta una prova scritta (non eliminatoria), seguita da una prova orale.

*Libri consigliati*

Bruno Finzi: *Meccanica Razionale*, Voli. I e II Zanichelli, Bologna.

Carlo Cercignani: *Spazio Tempo Movimento* (Introduzione alla Meccanica Razionale) Zanichelli, Bologna.

Bruno Finzi, Paolo Udeschini: *Esercizi di Meccanica Razionale*, Masson, Milano

G. Belli, C. Morosi, E. Alberti: *Meccanica Razionale: Esercizi*, Masson, Milano.

**MECCANICA RAZIONALE****AP0011**

(per gli allievi di Ingegneria Biomedica, Elettronica, Informatica, dei Materiali e delle Telecomunicazioni)

**Prof.ssa Elisa BRINIS UDESCHINI***Programma d'esame*

**Premesse.** Richiami di calcolo vettoriale. Elementi di calcolo tensoriale.

**Cinematica.** Gradi di libertà e coordinate libere. Spostamento di un punto e di un sistema; spostamenti rigidi finiti e infinitesimi; spostamento regolare infinitesimo. Spostamenti virtuali. Movimento di un punto e di un sistema. Velocità ed atto di moto. Atti di moto traslatorio, rotatorio, roto-traslatorio. Descrizione geometrica del moto rigido. Atto di moto di un sistema vincolato. Atto di moto virtuale. Accelerazione. Moto centrale e moto kepleriano. Distribuzione delle accelerazioni nel moto rigido. Cinematica relativa.

**Statica.** Statica del punto e dei sistemi di punti; reazioni vincolari; attrito. Sistemi equipollenti di forze. Baricentro. Statica dei corpi rigidi liberi e vincolati. Equazioni cardinali. Postulati della statica dei sistemi deformabili. Statica dei sistemi articolati. Statica dei fili e delle verghe. Statica dei continui tridimensionali deformabili: sforzi, relazione di Cauchy, equazioni indefinite. Statica dei fluidi. Principio dei lavori virtuali; equilibrio dei sistemi olonomi; equilibrio dei sistemi pesanti.

**Dinamica fisica.** Riferimenti. Leggi fondamentali della dinamica. Lavoro ed energia. Quantità meccaniche: momento d'inerzia, quantità di moto, momento delle quantità di moto, energia cinetica. Teoremi di conservazione. Equazioni cardinali della dinamica. Teorema dell'energia cinetica. Metodi dimensionali. Meccanica relativa.

**Calcolo del movimento.** Dinamica del punto materiale libero e vincolato; attrito dinamico. Dinamica del corpo rigido libero e vincolato; corpo rigido con asse fisso e con punto fisso. Postulati della dinamica dei sistemi. Principio di d'Alembert. Dinamica dei sistemi olonomi; equazioni di Lagrange. Stabilità dell'equilibrio e vibrazioni. Principio variazionale di Hamilton.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nella risoluzione di problemi attinenti agli argomenti del corso.

*Modalità d'esame*

L'esame comporta una prova scritta (non eliminatoria), seguita da una prova orale.

*Libri consigliati*

- Bruno Finzi: *Meccanica Razionale*, Voli. I e II, Zanichelli, Bologna.  
Bruno Finzi, Paolo Udeschini: *Esercizi di Meccanica Razionale*, Masson, Milano.  
G. Belli, C. Morosi, E. Alberti: *Meccanica Razionale: Esercizi*, Masson, Milano.  
G. Nespoli: *Esercitazioni di Meccanica Razionale*, CUSL, Milano.

*Testi di consultazione*

- T. Levi-Civita, U. Arnaldi: *Meccanica Razionale*, Zanichelli, Bologna.  
C. Cercignani: *Spazio Tempo Movimento* (Introduzione alla Meccanica Razionale), Zanichelli, Bologna.

**MECCANICA RAZIONALE****AP0011**

(per gli allievi di Ingegneria Chimica)

**Prof.ssa Anna Marisa MANARINI MERRI***Programma d'esame*

- 1. Campi ed operatori vettoriali. Tensori.** - Campi scalari e vettoriali, circolazione e flusso. Gradiente, divergenza, rotore, operatore di Laplace. Teorema della divergenza e di Stokes. Campi solenoidali, irrotazionali, armonici. Omografie vettoriali e tensori del 2° ordine. Tensore inverso, trasposto, simmetrico, emisimmetrico. Invarianti di un tensore, auto vettori ed auto valori. Tensori di ordine superiore al secondo (cenno).
- 2. Cinematica.** - Sistemi di punti, gradi di libertà e coordinate libere. Richiami di cinematica del punto. Atto di moto rigido, formule di Poisson. Moto rigido piano. Cinematica relativa. Spostamenti virtuali e velocità virtuali. Sistemi olonomi.
- 3. Statica.** - Vettori applicati e forze. Risultante, momento risultante, invariante scalare, sistemi equipollenti. Baricentro. Classificazione delle forze (attive, reattive, esterne, interne). Postulato fondamentale per le forze interne. Equazioni cardinali. Principio dei lavori virtuali. Principio di stazionarietà del potenziale.
- 4. Dinamica.** - Principi fondamentali della dinamica. Moto oscillatorio armonico. Oscillazioni smorzate, oscillazioni forzate, risonanza. Moto centrale. Dinamica relativa. Centro di massa, momenti di inerzia, ellissoide d'inerzia. Equazioni cardinali. Teorema dell'energia cinetica. Integrali primi del moto. Principio d'Alembert. Dinamica dei sistemi olonomi, equazioni di Lagrange e di Hamilton. Principio variazionale di Hamilton.
- 5. Stabilità e piccole oscillazioni.** - Stabilità di un sistema dinamico e stabilità dell'equilibrio. Teorema di Dirichlet. Piccole oscillazioni attorno ad una posizione di equilibrio stabile.
- 6. Meccanica dei continui.** - Punto di vista euleriano e lagrangiano. Equazione di bilancio della massa. Tensore di deformazione. Tensore degli sforzi, relazione di Cauchy. Equazioni indefinite di equilibrio. Equazioni di bilancio della quantità di moto e del momento della quantità di moto. Teorema dell'energia cinetica. Equazione del calore. Relazioni costitutive nei materiali. Corpi elastici, fluidi perfetti, fluidi viscosi. Equilibrio di un fluido, Equazione di moto di un fluido perfetto, teorema di Bernoulli. Equazione di Navier-Stokes per i fluidi viscosi.
- 7. Problemi di propagazione e di diffusione.** - Equazioni differenziali alle derivate parziali fondamentali della Fisica Matematica (equazione delle onde, del calore, di Laplace, di Poisson). Classificazione. Nozione di problema ben posto. Esempi di metodi di integrazione. Applicazioni a particolari problemi di Fisica Matematica.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nella risoluzione di problemi attinenti agli argomenti del corso.

*Modalità d'esame*

L'esame comporta una prova scritta (non eliminatoria), seguita da una prova orale.

*Libri consigliati*

- A. M. Manarini Merri: *Lezioni di Meccanica Razionale*, Voli. I e II, Ed. Masson.  
 C. Cercignani: *Spazio Tempo Movimento* (Introduzione alla Meccanica Razionale), Zanichelli, Bologna.  
 B. Finzi: *Meccanica Razionale*, Voli. I e II, Zanichelli, Bologna.  
 S.J. Farlow: *Partial Differential Equations for Scientist and Engineers*, Wiley, New York.  
 L. Amerio: *Analisi Matematica 3* (Metodi matematici e applicazioni), Voli. I e II, UTET  
 B. Finzi, P. Udeschini: *Esercizi di Meccanica Razionale*, Masson, Milano.  
 G. Belli, C. Morosi, E. Alberti: *Meccanica Razionale - Esercizi*, Masson, Milano.  
 G. Nespoli: *Esercitazioni di Meccanica Razionale*, CUSL, Milano.

**MECCANICA RAZIONALE****APOO11**

(per gli allievi di Ingegneria Civile, Edile ed Elettrica)

**Proff. Enrico ALBERTI, Giancesare BELLI***Programma d'esame*

- 1. Cinematica.** - Gradi di libertà e coordinate libere. Spostamento di un punto e di un sistema; spostamenti rigidi finiti e infinitesimi; spostamenti virtuali. Movimento di un punto e di un sistema. Velocità ed atto di moto. Atti di moto rigido e sue riduzioni. Atto di moto dei sistemi olonomi. Accelerazione. Moti centrali. Distribuzione delle accelerazioni nei moti rigidi. Cinematica relativa: composizione di velocità e accelerazioni. Rappresentazione vettoriale e matriciale di spostamenti, velocità e accelerazione nei moti piani.
- 2. Statica.** - Statica del punto e dei sistemi di punti; reazioni vincolari; attrito. Statica del corpo rigido: sistemi equipollenti di forze; baricentri; equazioni cardinali. Statica dei sistemi articolati. Azioni interne. Postulati della statica dei continui deformabili. Statica dei fili e delle verghe. Statica dei continui deformabili tridimensionali: sforzi, relazione di Cauchy, equazioni indefinite di equilibrio. Statica dei fluidi. Principio dei lavori virtuali; equilibrio dei sistemi olonomi; stazionarietà del potenziale.
- 3. Dinamica fisica.** - Osservatori. Legge d'inerzia, legge fondamentale, principio di azione e reazione. Lavoro ed energia. Quantità meccaniche: quantità di moto, momento delle quantità di moto, energia cinetica. Momenti di inerzia, elissoide e matrice d'inerzia. Equazioni cardinali della dinamica, equazione dell'energia cinetica e teoremi di conservazione. Meccanica relativa: forze apparenti e loro proprietà.
- 4. Calcolo del movimento.** - Dinamica del punto materiale libero e vincolato. Oscillatore armonico libero, smorzato, forzato; risonanza e battimenti. Dinamica del corpo rigido libero e vincolato; attrito dinamico per il punto e per i sistemi; il vincolo di puro rotolamento e l'attrito volvente. Corpo rigido con asse fisso: calcolo delle reazioni vincolari ed equilibramento dinamico dei corpi rotanti. Dinamica del corpo rigido con punto fisso: moti per inerzia, fenomeni giroscopici elementari. Dinamica dei sistemi di corpi rigidi. Principio di d'Alembert: applicazioni alla dinamica di sistemi articolati piani. Dinamica dei sistemi olonomi; equazioni di Lagrange. Stabilità dell'equilibrio.

brio; linearizzazione delle equazioni di moto nell'intorno di configurazioni stabili per sistemi con uno o più gradi di libertà, frequenze caratteristiche.

#### *Esercitazioni*

Durante il corso vengono tenuti seminari sulle applicazioni e sulla risoluzione di problemi attinenti agli argomenti del corso.

#### *Modalità d'esame*

L'esame comporta una prova scritta ed una prova orale, che vertono su teoria ed applicazioni.

#### *Libri consigliati*

- B. Finzi: *Meccanica Razionale*, Voli. I e II Zanichelli, Bologna.
- C. Cercignani: *Spazio Tempo Movimento* (Introduzione alla Meccanica Razionale) Zanichelli, Bologna.
- A. M. Merri Manarini: *Lezioni di Meccanica Razionale*, Voli. I e II, Masson, Milano.
- G. Belli, C. Morosi, E. Alberti: *Meccanica Razionale: Esercizi*, Masson, Milano.
- B. Finzi, P. Udeschini: *Esercizi di Meccanica Razionale*, Masson, Milano
- G. Nespoli: *Esercitazioni di Meccanica Razionale*, Voli. I e II, CUSL, Milano.

## **MECCANICA RAZIONALE**

**AP0011**

(per gli allievi di Ingegneria Meccanica, Informatica)

**Proff. Carlo MOROSI, Giancarlo SPINELLI**

#### *Programma d'esame*

- 1. Calcolo vettoriale.** - Generalità. Geometria delle linee.
- 2. Statica.** - Statica del punto e dei sistemi di punti; reazioni vincolari; attrito. Sistemi equipollenti di forze. Baricentro. Statica dei corpi rigidi liberi e vincolati. Equazioni cardinali. Postulati della statica dei sistemi deformabili. Statica dei sistemi articolati. Statica dei fili e delle verghe. Sforzi nei continui tridimensionali.
- 3. Principio dei lavori virtuali.** - Gradi di libertà e coordinate libere. Spostamento di un punto e di un sistema; spostamenti rigidi finiti e infinitesimi; spostamento regolare infinitesimo. Spostamenti virtuali. Principio dei lavori virtuali; equilibrio dei sistemi olonomi; equilibrio dei sistemi pesanti.
- 4. Cinematica del corpo rigido e di sistemi di corpi rigidi.** - Introduzione del formalismo matriciale in cinematica. Movimento di un punto e di un sistema. Velocità ed atto di moto. Atti di moto traslatorio, rotatorio, roto-traslatorio. Descrizione geometrica del moto rigido. Atto di moto di un sistema vincolato. Atto di moto virtuale. Accelerazione. Moto centrale e moto kepleriano. Distribuzione delle accelerazioni nel moto rigido. Cinematica relativa.
- 5. Dinamica fisica.** - Riferimenti. Leggi fondamentali della dinamica. Lavoro ed energia. Quantità meccaniche: momento d'inerzia, quantità di moto, momento delle quantità di moto, energia cinetica. Teoremi di conservazione. Equazioni cardinali della dinamica. Teorema dell'energia cinetica. Metodi dimensionali. Meccanica relativa.
- 6. Calcolo del movimento.** - Dinamica del punto materiale libero e vincolato; attrito dinamico. Dinamica del corpo rigido libero e vincolato; corpo rigido con asse fisso e con punto fisso. Postulati della dinamica dei sistemi. Principio di d'Alembert e sue applicazioni alla dinamica del corpo rigido e dei sistemi di corpi rigidi mutuamente accoppiati. Dinamica dei sistemi olonomi; equazioni di Lagrange. Stabilità dell'equilibrio e vibrazioni. Principio variazionale di Hamilton.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nella risoluzione di problemi attinenti agli argomenti del corso.

*Modalità d'esame*

L'esame comporta una prova scritta (non eliminatoria), seguita da una prova orale.

*Libri consigliati*

- B. Finzi: *Meccanica Razionale*, Voli. I e II, Zanichelli, Bologna.  
 C. Cercignani: *Spazio Tempo Movimento* (Introduzione alla Meccanica Razionale), Zanichelli, Bologna.  
 A. M. Merri Manarini: *Lezioni di Meccanica Razionale*, Voli. I e II, Masson, Milano.  
 B. Finzi, P. Udeschini: *Esercizi di Meccanica Razionale*, Masson, Milano.  
 G. Belli, C. Morosi, E. Alberti: *Meccanica Razionale: Esercizi*, Masson, Milano.

**MECCANICA RAZIONALE (1/2 annualità)****AP0106**

(per gli allievi di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio)

**Prof. Aldo FREZZOTTI**

*Programma d'esame***1 - Richiami di Calcolo Vettoriale.**

Definizioni, operazioni fondamentali sui vettori, identità notevoli.

**2 - Cinematica del punto.**

Linea d'universo, traiettoria, curva oraria. Velocità, accelerazione, tema intrinseca. Moti centrali, coordinate polari nel piano, formula di Binet. Cinematica relativa: cambiamenti di riferimento, matrici di rotazione, velocità angolare, velocità ed accelerazione di trascinamento, accelerazione complementare, formule di Poisson.

**3 - Meccanica Newtoniana.**

Leggi di Newton: Principio d'inerzia legge fondamentale, sovrapposizione degli effetti. Equazioni Cardinali: quantità di moto, teorema del moto del centro di massa, momento della quantità di moto, momento di un sistema di forze. Il teorema dell'energia cinetica: energia cinetica, potenza, sollecitazione conservativa, potenza delle forze interne, il teorema di Koenig.

Applicazioni allo studio del moto di sistemi di punti: moto di un punto su una linea liscia, problema dei due corpi, oscillazioni forzate, risonanza.

Il corpo rigido (cinematica): spostamento rigido e matrici di rotazione, cenni agli angoli di Eulero, il teorema di Eulero, il teorema di Chasles, spostamento rigido infinitesimo, atto di moto rigido e sue proprietà, atto di moto rigido piano.

Il corpo rigido (dinamica): quantità meccaniche fondamentali, matrice d'inerzia e sue proprietà, Equazioni di Eulero. Il teorema dell'energia cinetica nella dinamica del corpo rigido.

Sistemi di forze equipollenti e loro riduzione, baricentri e loro proprietà. Caratterizzazione dei vincoli più comuni, reazioni vincolari. Applicazioni: calcolo del moto e delle reazioni vincolari in sistemi di corpi rigidi nel piano. Moto di un corpo rigido con asse fisso e calcolo delle reazioni vincolari. Moto per inerzia di un corpo rigido con punto fisso. Cenni alla statica del corpo rigido con applicazioni nel caso piano.

**4 - Elementi di Meccanica Analitica.**

Vincoli olonomi, cenni ai vincoli anolonomi, spostamento virtuale, lavoro virtuale, lavoro virtuale delle reazioni vincolari, vincoli ideali. Equazione simbolica della dinamica, Equazioni di Lagrange, funzione di Lagrange. Momenti cinetici ed integrali primi del moto, Lagrangiana ridotta. Integrale

generalizzato dell'energia. Principio dei lavori virtuali, stazionarietà del potenziale e semplici applicazioni alla statica dei sistemi.

#### *Modalità d'esame*

L'esame si compone di una prova scritta seguita da una prova orale.

#### *Libri consigliati*

- C. Cercignani: *Spazio, tempo, movimento...*, Zanichelli.
- B. Finzi: *Meccanica Razionale*, Zanichelli.
- A.M. Merri Manarini: *Lezioni di Meccanica Razionale*, Masson.
- G. Belli, C. Morosi, E. Alberti: *Meccanica Razionale: Esercizi*, Masson.
- B. Finzi, P. Udeschini: *Esercizi di Meccanica Razionale*, Masson.
- G. Nespoli: *Esercitazioni di Meccanica Razionale*, Masson.
- M.D. Vivarelli: *Appunti di Meccanica Razionale*, Masson.

### **MECCANICA RAZIONALE (1/2 annualità)**

**AP0106**

(per gli allievi di Ingegneria Gestionale ed Informatica)

**Proff. Maurizio VIANELLO, Maria Dina VIVARELLI**

#### *Programma d'esame*

**Cinematica.** Richiami sui campi vettoriali. Cinematica del corpo rigido: configurazione, atto di moto, distribuzione delle accelerazioni. Vincoli e atto di moto virtuale. Cinematica relativa.

**Meccanica newtoniana.** Richiami di dinamica del punto. **I teoremi generali della meccanica:** della quantità di moto, del momento delle quantità di moto, dell'energia cinetica. Le equazioni cardinali della dinamica e della statica. Casi notevoli di equilibrio e di moto del punto e del corpo rigido vincolato. Cenni di meccanica dei sistemi articolati. Meccanica relativa.

**Meccanica analitica.** Principio dei lavori virtuali e stazionarietà del potenziale. La relazione simbolica della dinamica. Equazioni di Lagrange per sollecitazione generica e conservativa. Costanti del moto. Cenni di stabilità dell'equilibrio.

**Avvertenza.** Per gli studenti del vecchio Corso di Laurea in Ingegneria delle Tecnologie Industriali il programma del corso è quello dell'annualità comune agli altri corsi di laurea (Ingegneria Meccanica esclusa).

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nella risoluzione di problemi attinenti agli argomenti del corso.

#### *Modalità d'esame*

L'esame comporta una prova scritta, seguita da una prova orale.

#### *Libri consigliati*

Gli argomenti svolti nel corso e nelle applicazioni sono contenuti in

- C. Cercignani: *Spazio, tempo, movimento. Introduzione alla Meccanica Razionale*, Zanichelli.
- B. Finzi: *Meccanica Razionale*, Zanichelli.
- T. Levi-Civita, U. Arnaldi: *Compendio di Meccanica Razionale*, Zanichelli.
- A.M. Merri Manarini: *Lezioni di Meccanica Razionale*, Masson.

M.D. Vivarelli: *Appunti di Meccanica Razionale*, Corso semiannuale, Masson.  
B. Finzi, P. Udeschini: *Esercizi di Meccanica Razionale*, Masson.  
G. Belli, C. Morosi, E. Alberti: *Meccanica Razionale: Esercizi*, Masson.  
G. Nespola: *Esercitazioni di Meccanica Razionale*, CUSL.

## **METALLURGIA**

**AR0070****Proff. Mario BALBI, Giuseppe SILVA**

### *Programma d'esame*

Brevi nozioni di fisica dei metalli.

Diagrammi di stato delle leghe metalliche con particolare riferimento a: Fe-Ni, Fe-Cr, Cu-Zn, Al-Cu.

Fasi e costituenti del diagramma Fe-C.

Trattamenti termici: punti critici, influenza della velocità di raffreddamento, curve isoterme e anisoterme, strutture degli acciai. Trattamenti termici di interesse applicativo: ricottura, normalizzazione, tempra, ricottura di addolcimento, rinvenimento, bonifica. Trattamenti particolari. Trattamenti termochimici di diffusione: cementazione e nitrurazione.

Influenza degli elementi aggiunti al ferro sul campo gamma e sulle proprietà; diagrammi strutturali allo stato ricotto di acciai legati al Ni, Mn, Cr, ecc. ed al Cr-Ni.

Proprietà meccaniche; prove meccaniche; significato e validità dei dati ricavabili da tali prove e loro reciproche correlazioni.

Cenni sulle proprietà fisiche, sugli esami metallografici e sui controlli non distruttivi.

Fenomeni metallurgici di particolare interesse applicativo: fragilità, scorrimento viscoso, fatica, usura e corrosione.

Classificazione degli acciai; in particolare, per gli acciai da costruzione, calcolo approssimato di  $R$  in funzione della composizione chimica, indici di qualità, cicli schematici di lavorazione e trattamento termico.

Proprietà e applicazioni: degli acciai comuni e di qualità; degli acciai speciali da costruzione (bonifica, cementazione, nitrurazione, molle autotempranti); degli acciai per utensili.

Cenni sugli acciai inossidabili e sulle ghise.

Classificazione, proprietà e applicazioni dei principali metalli e leghe non ferrose: alluminio, rame, nichel, titanio.

Le successive parti del programma di insegnamento sono tenute in forma seminariale, ed hanno lo scopo di introdurre l'allievo alle tematiche dei materiali alternativi di interesse per l'ingegneria meccanica:

- Materiali compositi a matrice metallica. Proprietà meccaniche. Campi di impiego. Lavorazioni caratteristiche.
- Introduzione alle materie plastiche. Proprietà meccaniche; elasticità e viscoelasticità; scorrimento e rottura; rilassamenti e scorrimenti per sollecitazioni meccaniche periodiche. Applicazioni nei diversi settori industriali. Tecnologie di lavorazione.
- Introduzione ai materiali compositi a matrice polimerica.
- Introduzione ai materiali ceramici. Proprietà termiche e meccaniche. Applicazioni. Preparazione e lavorazioni.

### *Libri consigliati*

W. Nicodemi: *Metallurgia*, ed. Masson, Milano, 1991.

**METALLURGIA (C)****AR0131****Prof. Walter NICODEMI***Programma d'esame*

**1.1 metalli e le leghe.** Solidificazione; dendritismo. Solidi monocristallini e policristallini. Legame metallico. Reticoli cristallini; celle elementari. Difetti di punto e difetti di linea; dislocazioni; bordi di grano. Diffusione allo stato solido. Meccanismi di rafforzamento dei materiali metallici. Deformazione plastica. Soluzioni solide. Composti. Ricristallizzazione; crescita del grano.

Diagrammi di stato delle leghe metalliche: diagrammi binari; cenno ai diagrammi ternari. Sistemi Fe-Ni, Fe-Cr, Cu-Zn, Al-Cu. Diagramma Fe-C; fasi e costituenti strutturali del sistema Fe-C.

**2. Influenza degli elementi aggiunti al metallo base.** Influenza degli elementi aggiunti al ferro sul campo gamma e sulle proprietà; diagrammi strutturali allo stato ricotto degli acciai legati al Ni, Mn, Cr, ecc. e al Cr-Ni. Influenza degli elementi aggiunti all'alluminio. Influenza degli elementi aggiunti al rame.

**3. Trasformazioni di fase e trattamenti termici.** Trattamenti termici delle leghe ferrose: punti critici, influenza della velocità di raffreddamento, curve isoterme ed anisoterme, strutture degli acciai. Ricottura, normalizzazione, tempra, rinvenimento, bonifica. Trattamenti termochimici di diffusione. Trattamenti termici di metalli e leghe non ferrose.

**4. Proprietà fisiche e proprietà meccaniche.** Prove di durezza, trazione, resilienza, tenacità alla frattura, fatica, scorrimento viscoso. Esami metallografici; controlli non distruttivi; prove di laboratorio e sul campo.

**5. Cedimento in servizio;** frattura duttile e fragile; cedimento per fatica; deformazione e frattura ad alta temperatura; scorrimento viscoso; usura; corrosione.

**6. Gli acciai e le ghise:** classificazione, criteri di scelta, proprietà ed applicazioni. Acciai di base e di qualità. Acciai speciali (da bonifica, autotempranti, per molle, da cementazione, da nitrurazione). Cenni sugli acciai per utensili, ed inossidabili. Ghise grigie e ghise bianche; cenni sulle ghise malleabili e sferoidali.

**7. Classificazione, criteri di scelta, proprietà ed applicazioni dei principali metalli e leghe non ferrose:** alluminio, rame, nichel, magnesio, titanio.

**8. La metallurgia nei processi di lavorazione e di trasformazione:** metallurgia della saldatura, delle lavorazioni per asportazione di truciolo, delle lavorazioni per deformazione plastica a caldo e a freddo, dei processi fuoriori e di fonderia; metallurgia delle polveri.

*Libri consigliati*

W. Nicodemi: *Metallurgia*, Ed. Masson, 1996.

**METODI DI COMUNICAZIONE TECNICA (corso libero)****AR0145****Prof. Edoardo ROVIDA***Programma d'esame***1.1 principi generali.**

- oralità, scrittura e comunicazione
- la comunicazione in campo tecnico ed i relativi schemi logici
- cenni alle teorie psicologiche dell'apprendimento ed alla teoria dell'informazione

**2. La strutturazione.**

- gli obiettivi della comunicazione (il "comportamento terminale")
- i prerequisiti della comunicazione (il "comportamento iniziale")
- l'analisi degli obiettivi
- evidenziazione e sintesi dei concetti che costituiscono gli obiettivi

**3. L'unità di comunicazione.**

- l'elemento base della comunicazione
- la parti costituenti: informativa, critica, applicativa

**4. Scelta del mezzo di trasmissione.**

- principi generali
- i principali tipi di trasmissione: verbale, scritta, grafica, audiovisiva, espositiva, informatica, multimediale

**5. Altri problemi di comunicazione.**

- la didattica tecnica
- la comunicazione in azienda
- lo sviluppo della creatività
- la capacità di relazionare
- la verifica
- l'orientamento
- l'educazione permanente

*Esercitazioni*

Durante il corso verranno organizzati alcuni incontri con rappresentanti di Aziende, allo scopo di esaminare le principali problematiche della comunicazione aziendale.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in un colloquio sugli argomenti del corso.

*Libri consigliati*

G. F. Biggioggero, E. Rovida *Metodi di comunicazione tecnica* CittàStudi (in corso di pubblicazione)  
C.E.Shannon, W. Weaver *La teoria matematica della comunicazione* Etas Libri  
E. Matriccioni *La scrittura tecnico-scientifica* CittàStudi  
Ulteriore bibliografia di approfondimento verrà indicata durante il corso.

**METODI E MODELLI PER IL SUPPORTO ALLE DECISIONI**

**000869**

**Prof. Carlo VERCELLIS**

*Programma d'esame*

*Obiettivi del corso*

L'insegnamento *Modelli per il supporto alle decisioni* si pone l'obiettivo di fornire agli studenti la conoscenza di modelli, algoritmi e strumenti informatici che consentano di affrontare processi decisionali complessi, che si presentano nella gestione di imprese o di altre organizzazioni. Il corso rappresenta una naturale estensione dell'insegnamento di *Ricerca Operativa*, nel cui ambito vengono impartite le conoscenze di base teoriche e metodologiche relative alle tecniche di ottimizzazione, di simulazione, di analisi statistica dei dati e di analisi decisionale. Assumendo pertanto che tali nozioni siano note, il corso *Modelli per il supporto alle decisioni* illustra specifici modelli e stru-

menti informatici utilizzabili in diversi domini di applicazione, quali la produzione, il marketing, la pianificazione e il controllo, i sistemi di servizio. Tali tematiche vengono affrontate in una prospettiva multidisciplinare, che investe aspetti modellistici, informatici e organizzativi.

Il corso è strutturato in due parti. Nella prima vengono fornite conoscenze di carattere generale, relative alla rappresentazione dei processi decisionali, allo sviluppo degli strumenti informatici, alle tecniche avanzate di modellazione. La seconda parte, invece, riguarda i diversi ambiti di applicazione di modelli di supporto decisionale.

#### *Programma del corso*

##### **Parte I: Generalità.**

1. Introduzione al corso. Analisi e rappresentazione del processo decisionale. Misura delle prestazioni e valutazione delle alternative. Paradigmi di decisione.
2. Modelli e metodi avanzati di ottimizzazione. Paradigmi di rappresentazione. Formulazioni equivalenti di problemi di ottimizzazione. Paradigmi algoritmici. Modelli a obiettivi multipli. Modelli di grandi dimensioni. Modelli gerarchici. Metodi di rilasciamento. Metodi di scomposizione. Metodi approssimati.
3. I sistemi di supporto alle decisioni. Relazioni tra sistemi informativi aziendali e sistemi di supporto alle decisioni. Le componenti di un sistema di supporto alle decisioni: modelli, dati e strutture organizzative. La realizzazione di sistemi di supporto alle decisioni: scelta delle modalità di colloquio; scelta degli ambienti di sviluppo; valutazione economica; impatto organizzativo.

##### **Parte II: Applicazioni Specifiche.**

4. Modelli per la progettazione e la pianificazione di sistemi di produzione. Paradigmi di rappresentazione dei sistemi di produzione. Processi decisionali e misura delle prestazioni. Scelte di investimento. Pianificazione della capacità produttiva. Analisi tattica e miglioramento continuo. Modelli di pianificazione gerarchica. Modelli di lot-sizing a capacità finita.
5. Modelli per l'analisi finanziaria. Analisi e gestione del rischio, ingegneria finanziaria. Portafogli obbligazionari e immunizzazione. Modelli mean-variance. Analisi best/worst case per prodotti derivati.
6. Modelli per il dimensionamento e l'allocazione della forza di vendita. Modelli per l'integrazione interfunzionale tra marketing e produzione.

#### *Testi consigliati*

Il materiale didattico è costituito in prevalenza da una raccolta di dispense e articoli che saranno distribuiti durante lo svolgimento del corso. Gli studenti possono consultare anche i seguenti testi, relativi alla prima parte del corso:

A.P. Sage: *Decision support System engineering*, Wiley, 1991.

M.W. Davis: *Applied decision support*, Prentice Hall, 1988.

L.S. Lasdon: *Optimization theory for large System*, MacMillan, 1970.

J.F. Shapiro: *Mathematical programming: structures and algorithms*, Wiley, 1979.

#### *Modalità d'esame*

L'esame si articola attraverso due fasi: lo svolgimento di un progetto durante il corso, e una prova orale al termine.

**METODI MATEMATICI PER L'INGEGNERIA****AP0013****Prof. Giovanni PROUSE***Programma d'esame*

**1. Teoria delle distribuzioni.** Gli spazi  $D$  e  $D'$ . Definizione delle operazioni fondamentali. Derivazione ed integrazione. Convoluzione. Distribuzioni temperate. Distribuzioni periodiche e serie di Fourier. Trasformata di Fourier. Trasformata di Laplace. Equazioni di convoluzione. Distribuzioni in più variabili.

**2. Equazioni alle derivate parziali nell'ambito della teoria delle distribuzioni.** Definizione di soluzione e di problema ben posto. L'equazione di D'Alembert nell'ambito delle distribuzioni: soluzione fondamentale, integrale generale, discontinuità. Introduzione alla teoria hilbertiana delle equazioni alle derivate parziali. L'equazione generalizzata di Poisson: definizione di soluzione debole e sua interpretazione fisica, teoremi di esistenza ed unicità, soluzione fondamentale, autovalori ed autosoluzioni. Altri esempi di equazioni di tipo ellittico. L'equazione generalizzata delle onde: definizione di soluzione debole e sua interpretazione fisica, problemi di propagazione, teoremi di esistenza ed unicità. L'equazione generalizzata del calore: definizione di soluzione debole, teoremi di esistenza ed unicità. L'equazione di Schrödinger. Risoluzione di equazioni di evoluzione con il metodo delle trasformate.

**3. Analisi funzionale.** Operatori lineari limitati negli spazi di Banach. Spazio duale. Teorema di Hahn-Banach. Prodotto di operatori. Polinomi e serie di potenze di operatori. Teorema dell'uniforme limitatezza. Convergenza forte di una successione di operatori. Operatore inverso; teoremi di limitatezza e di dipendenza continua. Operatore aggiunto negli spazi di Hilbert. Operatori autoaggiunti. Proiettori ed operatori unitari. Convergenza scalare e convergenza debole. Compattezza debole negli spazi di Hilbert. Autovalori, autosoluzioni, autovettori; caso autoaggiunto. Valori singolari. Risoluzione dell'equazione di Fredholm. Teoremi di Fredholm. L'equazione di Fredholm nel caso autoaggiunto. Sviluppi in serie di autosoluzioni. Teoremi di punto unito. L'integrale di Stieltjes.

**4. Teoria spettrale degli operatori.** Ordinamento parziale degli operatori autoaggiunti. Funzioni di un operatore autoaggiunto. Analisi spettrale degli operatori autoaggiunti limitati. Operatori illimitati. Aggiunto di un operatore illimitato; operatori simmetrici ed autoaggiunti. Teorema di decomposizione spettrale di Von Neumann. Risolvente e spettro di un operatore lineare. Analisi spettrale degli operatori autoaggiunti illimitati. Teorema di Stone ed applicazioni all'equazione di Schrödinger.

**5. Calcolo delle variazioni.** Insiemi compatti. Funzionali semicontinui inferiormente. Teorema fondamentale di esistenza di un minimo. Successioni relativamente compatte; teoremi di Ascoli-Arzelà e di Tonelli. Teoremi di semicontinuità inferiore. Teorema di esistenza di un minimo. Equazione non lineare della corda vibrante; interpretazione variazionale ed esistenza di una configurazione di equilibrio nel caso statico; teorema di unicità. Teorema di densità. Calcolo numerico delle funzioni di minimo; metodi di Ritz e di penalizzazione. Cenni sugli ulteriori sviluppi del calcolo delle variazioni.

**6. Analisi qualitativa di sistemi differenziali ordinari non lineari.** Posizione del problema. Sistemi autonomi e sistemi periodici. Analisi nell'intorno di un punto singolare. Traiettorie di separazione o di addensamento. Soluzioni periodiche e cicli limiti. Teorema topologico di Brouwer. Analisi qualitativa di equazioni non lineari della meccanica e dell'elettronica. Modelli matematici biologici. Analisi qualitativa nel campo analitico.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste di una prova orale.

Il programma consta degli argomenti:

- 1, 2, 3 e di uno, a scelta, tra 4, 5, 6 per gli studenti che abbiano seguito il corso annuale di Analisi Matematica III, 1 ;
- 2, 3, 4, 5 per gli studenti che abbiano seguito il corso annuale di Analisi Matematica III, 2 ;
- 2, 3 e due, a scelta, tra 4, 5, 6 per gli studenti che abbiano seguito il corso semiannuale di Analisi Matematica III, 1 ;
- 1, 3 e due, a scelta, tra 4, 5, 6 per gli studenti che abbiano seguito il corso semiannuale di Analisi Matematica III, 2.

*Libri consigliati*

- L. Amerio: *Analisi Matematica con elementi di Analisi Funzionale. Metodi Matematici ed applicazioni*, parte I e II UTET, 1986.
- L. Schwarz: *Theorie des distributions*, vol. I e II, Hermann, 1966.
- L. Schwarz: *Methodes mathematiques pour les Sciences physiques*, Hermann, 1965.
- O.A. Ladyzhenskaja: *The boundary value problems of mathematical physics*, Springer, 1985.
- F. Riesz, B. SzNagy: *Lecons d'analyse fonctionnelle*, Gauthier-Villars, 1965.
- K. Yoshida: *Functional Analysis*, Springer, 1966.
- E. Lorch: *Spectral theory*, Oxford University Press, 1962.
- L. Tonelli: *Fondamenti di Calcolo delle variazioni*, vol. I e II, Zanichelli, 1928.
- C.B. Morrey: *Multiple integrals in the Calculus of variations*, Springer, 1966.
- V. Nemitskii, V.V. Stepanov: *Qualitative theory of differential equations*, Princeton University Press, 1960.

**METODI NUMERICI PER L'INGEGNERIA (1/2 annualità)****APOI 13****Prof. Alfio QUARTERONI****Scopo.**

Il corso intende fornire una presentazione rigorosa dei "moderni" metodi di approssimazione di problemi alle derivate parziali, con riferimento alle proprietà di stabilità, convergenza, accuratezza. Si presentano inoltre algoritmi efficienti di risoluzione di sistemi sparsi di grandi dimensioni, derivanti da discretizzazioni basate sul metodo degli elementi finiti, delle differenze finite e sui metodi spettrali, con riferimento a vari problemi della fisica-matematica.

In particolare, si considerano problemi associati a equazioni di tipo ellittico (con riferimento a problemi di potenziale e dell'elasticità lineare), parabolico (equazioni di diffusione e trasporto), e iperbolico (con riferimento a leggi di conservazione), nonché alcune applicazioni rilevanti a problemi dell'ingegneria.

Questo corso mette a fuoco gli aspetti numerici dei problemi alle derivate parziali. I corrispondenti aspetti analitici sono invece sviluppati nel corso (semi-annuale) di Analisi Matematica III (2). I due corsi pertanto saranno strettamente coordinati.

**Contenuti.**

1. Richiami di formulazioni "variazionali" di problemi differenziali al contorno.
2. Generalità sulle moderne metodologie di approssimazione: il metodo di Galerkin e di collocazione. Analisi di stabilità e convergenza.

3. Due esempi notevoli di approssimazione: gli elementi finiti e i metodi spettrali.
4. Problemi di evoluzione per equazioni di tipo parabolico (equazioni di diffusione e diffusione-trasporto).
5. Il metodo Petrov-Galerkin e la viscosità numerica: metodi di stabilizzazione.
6. Approssimazione di problemi di evoluzione per equazioni di tipo iperbolico (leggi di conservazione, equazione delle onde).
7. Algoritmi moderni di risoluzione di sistemi lineari di grandi dimensioni associati ad equazioni a derivate parziali. Metodi iterativi con preconditionamento, metodi multigrid.
8. Tecniche numeriche per la discretizzazione della derivata temporale in processi evolutivi: metodi alle differenze finite, e metodi di tipo "fractional step". Applicazione alle equazioni paraboliche ed iperboliche.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale. Per quegli studenti che avessero seguito il corso semiannuale di Analisi Matematica III (2) è prevista una prova d'esame coordinata fra i due corsi.

#### *Testi consigliati*

- A. Quarteroni, A. Valli: *Numerical Approximation of Partial Differential Equations*, Springer-Verlag, Berlin, 1994.
- C. Johnson: *Numerical solution of partial equations by the finite element method*, Cambridge University Press, 1987.
- P.-A. Raviart, J.-M. Thomas: *Introduction à l'analyse numérique des équations aux dérivées partielles*, Masson, Paris, 1983.
- C. Canuto, M.Y. Hussaini, A. Quarteroni, T.A. Zang: *Spectral Methods in Fluid Dynamics*, Springer, New York, 1988

### **METODI PROBABILISTICI, STATISTICI E PROCESSI STOCASTICI (1/2 annualità) APOI03** (per gli allievi di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio ed Informatica)

**Prof. Elio PIAZZA**

#### *Programma d'esame*

1. **Probabilità** Probabilità eventi, algebra degli eventi, definizione assiomatica di probabilità, spazio dei campioni, probabilità condizionali, probabilità totale, formula di Bayes, indipendenza stocastica,
2. **Variabili aleatorie** Funzione di ripartizione e di densità, valori di sintesi di variabili aleatorie (valore atteso, varianza, momenti, mediana, moda), disuguaglianza di Cebicev.
3. **Funzioni di distribuzione più comuni** Caso discreto: funzione indicatrice di un evento (distribuzione di Bemoulli), estrazioni seguite da reimpussolamento (distribuzione binomiale), estrazioni senza reimpussolamento (distribuzione ipergeometrica), tempo di attesa del primo successo (distribuzione geometrica) e dell'ennesimo successo (distribuzione binomiale negativa), distribuzione di Poisson. Caso continuo: distribuzione uniforme, gaussiana, esponenziale (tempo di attesa nel continuo), gamma. Momenti e funzione generatrice di momenti.
4. **Distribuzioni congiunte e condizionate** Vettori aleatori (caso discreto e continuo in due dimensioni), indipendenza stocastica, Funzioni di distribuzione congiunte, esempi: distribuzione multinomiale, uniforme, gaussiana. Valori di sintesi del vettore aleatorio: covarianza, matrice di covarianza, coefficiente di correlazione lineare. Distribuzioni condizionate per variabili aleatorie di-

scrite e continue. Valori attesi condizionati. Disuguaglianza di Cauchy-Schwarz. Funzioni di più variabili aleatorie. Massimo, minimo e somma di variabili aleatorie.

**5. Convergenza** Vari tipi di convergenza di successioni di variabili aleatorie: in probabilità, in legge, quasi certa, in media quadratica. Legge debole dei grandi numeri. Teorema limite centrale e sua rilevanza ai fini inferenziali, approssimazioni normali. Altre approssimazioni. Esempi ed applicazioni.

**6. Regressione lineare** Curve di regressione, regressione lineare, minimi quadrati, curve e rette di regressione.

**7. Inferenza statistica** Popolazione, campionamento, statistiche, frequenza campionaria, media campionaria, varianza campionaria, momenti campionari, distribuzioni campionarie notevoli. Stima puntuale di parametri. Metodo dei momenti. Stimatori di massima verosimiglianza e loro proprietà. Stimatori corretti, consistenti, UMVUE. Disuguaglianza di Cramér-Rao. Stima per intervalli. Intervalli di confidenza. Quantità pivotali. Stima di parametri di una distribuzione normale e bemulliana (campione numeroso), relazione fra numerosità del campione e ampiezza dell'intervallo (a parità di confidenza). Intervalli di confidenza asintotici. Confronto fra due ipotesi statistiche. Ipotesi semplici ed ipotesi composte. Regione critica. Errori di prima e di seconda specie. Lemma di Neyman-Pearson. Esempi. Criterio del rapporto di verosimiglianza. Il test chi-quadrato. Il test di Kolmogorov-Smimov. Esempi.

**8. Processi di Markov** Definizione di processo di Markov. Spazio degli stati. Classificazione in base al tipo di spazio degli stati e di parametro. Esempi. Funzione di probabilità di transizione. Catene di Markov omogenee a parametro discreto. Distribuzione di probabilità ad un tempo. Probabilità di transizione in  $n$  passi. La distribuzione d'equilibrio. Tempi d'attesa, tempi d'attesa medi e connessione con la soluzione d'equilibrio.

#### *Modalità d'esame*

Prova scritta e prova orale.

#### *Testi consigliati*

A. M. Mood, F.A. Graybill, D.C. Boes: *Introduzione alla Statistica*, McGraw-Hill Italia, Milano, 1988. Eventuali appunti del docente.

#### *Testi di consultazione*

B. V. Gnedenko: *Teoria della Probabilità*, Editori Riuniti, Roma, 1979.

F. Sansò: *Il trattamento statistico dei dati*, CLUP, 1989.

#### *Testi di esercizi*

B. Apolloni, A. Barchielli, E. Battistini, D. de Falco, M. Verri: *Problemi svolti di probabilità e statistica matematica*, McGraw-Hill Italia, Milano, 1993

M. Cerasoli: *Problemi risolti di Calcolo delle Probabilità*, CEA, Milano, 1991.

G. Ciccùte Ili, M.A. Pannone: *Complementi ed esercizi di statistica descrittiva ed inferenziale*, Maggioli, Rimini, 1991.

V. Comincioli: *Problemi e modelli matematici nelle scienze applicate*. Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1993.

**METODI PROBABILISTICI, STATISTICI E PROCESSI STOCASTICI****AP0102**

(per gli allievi del Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica, Elettronica, Informatica, Nucleare e delle Telecomunicazioni)

**Proff. Alberto SARCHIELLI, Federico MARCHETTI, Fabrizio RUGGERI, Maurizio VERRI***Programma d'esame***1. Probabilità.**

Spazio dei campioni, eventi, sigma-algebra degli eventi. Definizione assiomatica di probabilità. Probabilità condizionata e indipendenza stocastica, Teorema delle probabilità totali, Formula di Bayes. Regola del prodotto. Esempi ed applicazioni.

**2. Variabili aleatorie e funzioni di distribuzione (F.d.d.).**

F.d.d. discrete: funzione indicatrice di un evento (distribuzione di Bemoulli), estrazioni seguite da reimbussolamento (distribuzione binomiale), estrazioni senza reimbussolamento (distribuzione ipergeometrica), tempo di attesa del primo successo (distribuzione geometrica) e dell'ennesimo successo (distribuzione binomiale negativa), distribuzione di Poisson, ... F.d.d. continue e funzione di densità: distribuzione uniforme, gaussiana, esponenziale (tempo di attesa nel continuo), gamma ... Caratteristiche numeriche delle variabili aleatorie: valore atteso, varianza, momenti, mediana, moda, ... Funzioni di una variabile aleatoria. Disuguaglianze di Cebicev e di Jensen. Funzione generatrice dei momenti: proprietà ed esempi. Cenni sulla funzione caratteristica. Esempi ed applicazioni.

**3. Distribuzioni congiunte e condizionate.**

Funzioni di distribuzione congiunte, esempi: distribuzione multinomiale, uniforme, gaussiana. Valori attesi, matrice di covarianza, coefficiente di correlazione. Distribuzioni condizionate per variabili aleatorie discrete e continue. Disuguaglianza di Cauchy-Schwarz. Funzioni di più variabili aleatorie. Massimo, minimo e somma di variabili aleatorie. Esempi ed applicazioni.

**4. Convergenza.**

Vari tipi di convergenza di successioni di variabili aleatorie: in probabilità, in legge, in media quadratica. Legge debole dei grandi numeri. Teorema limite centrale, approssimazioni normali. Altre approssimazioni. Esempi ed applicazioni.

**5. Stima di parametri.**

Statistiche e momenti campionari. Stima puntuale di parametri. Metodo dei momenti. Stimatori di massima verosimiglianza e loro proprietà. Stimatori non distorti, consistenti, UMVUE. Disuguaglianza di Cramér-Rao. La famiglia esponenziale. Statistiche sufficienti, complete. Teoremi di Rao-Blackwell e di Lehmann-Scheffé. Stima per intervalli. Intervalli di confidenza. Quantità pivotali. Stima di parametri di una distribuzione gaussiana. Intervalli di confidenza per grandi campioni. Esempi ed applicazioni.

**6. Verifica di ipotesi.**

Confronto tra due ipotesi statistiche. Ipotesi semplici ed ipotesi composte. Regione critica. Errori di prima e seconda specie. Lemma di Neyman-Pearson. Funzione di potenza e test uniformemente più potenti. Criterio del rapporto di verosimiglianza. Il test chi-quadrato. Il test di Kolmogorov-Smirnov. Esempi ed applicazioni.

**7. Regressione lineare.**

Curve e rette di regressione. Metodo dei minimi quadrati. Teorema di Gauss-Markov. Regressione nel caso gaussiano. Esempi ed applicazioni.

**8. Processi stocastici.**

Definizione e legge di probabilità di un processo stocastico. Funzioni di distribuzione di probabilità finito-dimensionali. Processi stocastici a incrementi indipendenti. Processo di Poisson. Il processo di Poisson sotto selezione aleatoria. Tempi di attesa per il processo di Poisson. Funzioni valore medio e covarianza per un processo stocastico. Processi stazionari. Processi gaussiani. Passeggiate aleatorie: il problema della rovina del giocatore. Cenni sul processo di Wiener. Esempi ed applicazioni.

**9. Processi di Markov.**

Definizione di processo di Markov. Spazio degli stati. Classificazione in base al tipo di spazio degli stati e di parametro. Funzione di probabilità di transizione. Catene di Markov omogenee a parametro discreto. Distribuzione di probabilità ad un tempo. Probabilità di transizione in  $n$  passi. La distribuzione d'equilibrio. Tempi d'attesa, tempi d'attesa medi e connessione con la soluzione d'equilibrio. Catene di Markov omogenee a parametro continuo. Esempi ed applicazioni.

*Modalità d'esame*

L'esame è composto da una prova scritta ed una prova orale

*Testi consigliati*

- A.M. Mood, F.A. Graybill, D.C. Boes: *Introduzione alla Statistica*. McGraw-Hill Italia, Milano 1988  
 Eventuali appunti di lezione distribuiti dal docente.  
 P. Baldi: *Calcolo delle probabilità e statistica*. McGraw-Hill Italia, Milano 1992  
 S. Ross: *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Wiley 1987

*Testi di consultazione*

- G. Cicchitelli: *Probabilità e Statistica*, Maggioli, Rimini, 1984  
 E. Miniar: *Introduction to Stochastic Processes*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1975  
 G. Dall'Aglio: *Calcolo delle Probabilità*, Zanichelli, Bologna, 1987  
 A. Papoulis: *Probabilità, Variabili aleatorie e Processi Stocastici*. Boringhieri, Torino 1973  
 L. Piazza: *Appunti per un corso di Statistica matematica*, Progetto Leonardo, Bologna 1996  
 V.K. Rohatgi: *An introduction to probability theory and mathematical statistics*, John Wiley, New York, 1976  
 S. Ross: *Stochastic Processes*, Wiley, New York 1983  
 F. Sansò: *Il trattamento statistico dei dati*. CLUP, 1989  
 O. Vitali: *Statistica per le scienze applicate*, Cacucci, Bari, 1993

*Testi di esercizi*

- G. Andreatta, W. Rungganldier: *Statistica matematica. Problemi ed esercizi risolti*, Liguori, Napoli, 1983  
 B. Apolloni, A. Barchielli, E. Battistini, D. de Falco, M. Verri: *Problemi svolti di probabilità e statistica matematica*. McGraw-Hill Italia, Milano 1993  
 P. Baldi, R. Giuliano, L. Ladelli. *Laboratorio di Statistica e Probabilità*, McGraw-Hill Italia, 1995  
 C. Carota, F. Corielli, S. Petrone: *Esercizi di Calcolo delle Probabilità e Statistica Inferenziale*, Spiegel, Milano 1992  
 M. Cerasoli: *Problemi risolti di Calcolo delle Probabilità*, CEA, Milano, 1991  
 G. Cicchitelli, M.A. Pannone: *Complementi ed esercizi di statistica descrittiva ed inferenziale*. Maggioli, Rimini, 1991  
 A. Frigessi: *Calcolo delle Probabilità*. ETAS, Milano, 1994  
 Lipschutz: *Calcolo delle Probabilità*, Collana Schaum, McGraw-Hill Italia, 1994

M. Maravalle, E. Benedetti, M. Coccia, P. Iaffella, M. C. Parisi: *Esercizi di Statistica svolti dal manuale di Mood*, Graybill, Boes, McGraw-Hill Italia, Milano, 1996

Murray & Spiegel: *Probabilità e Statistica*, Collana Schaum, McGraw-Hill Italia, 1994

R. Giuliano: *Laboratorio di Probabilità*. ETS, Pisa, 1987

L. Piccinato: *Calcolo delle probabilità. Esercizi*, La Goliardica, Roma, 1976

M. R. Spiegel: *Statistica*, Collana Schaum, McGraw-Hill Italia, 1994

A.A. Sveshnikov: *Problem in Probability Theory*, Mathematical Statistics and Theory of Random Functions, Dover, New York 1968

Autori vari: *The Statistics Problem Solver*, Research and Education Association, 1987

## MICROELETTRONICA

000865

Prof. Mario BERTOLACCINI

### *Programma di esame*

#### **1. Rumore elettronico nei componenti, nei circuiti e nei sistemi.**

Sorgenti di rumore nei componenti passivi ed attivi. Circuiti equivalenti dal punto di vista del rumore. Tecniche di calcolo del rumore nei circuiti elettronici. Tecniche di progetto volte a minimizzare il rumore in applicazioni diverse ed esempi relativi.

#### **2. Fenomeni di distorsione.**

Distorsione lineare: di ampiezza, di fase. Distorsione non lineare: distorsione armonica, effetto della controreazione, analisi e progetto delle strutture fondamentali; distorsione dinamica, analisi e criteri di progetto, esempi.

#### **3. Amplificatori operazionali integrati a tecnologia bipolare e bifet.**

Stadi di ingresso: parametri caratteristici, configurazioni fondamentali, criteri di progetto, esempi di realizzazione. Specchi di corrente e riferimenti di tensione: analisi e progetto. Stadi intermedi: funzioni di carico del primo stadio, di traslazione di livello, di pilotaggio dello stadio di uscita; problemi di risposta in frequenza e di settling time; esempi di progetto. Stadi di potenza (di uscita): parametri caratteristici, configurazioni fondamentali, dispositivi di potenza e problemi di realizzazione monolitica, cenno agli amplificatori dedicati (audio, ecc.) e agli amplificatori di potenza, esempi di progetto. Confronto tra le diverse tecnologie di realizzazione.

#### **4. Amplificatori operazionali integrati a tecnologia MOS.**

Potenzialità e limiti della tecnologia - Tecnologie CMOS e NMOS. Specchi di corrente dinamici. Stadi in classe AB. Configurazioni fondamentali. Criteri di progetto ed esempi

#### **5. Amplificatori per strumentazione (Instrumentation Amplifiers) integrati.**

Caratteristiche fondamentali - Strutture utilizzanti amplificatori operazionali - Strutture specifiche, analisi e progetto, esempi di realizzazione.

#### **6. "Current mode" e "Current feedback" nel progetto degli amplificatori operazionali e degli amplificatori per strumentazione integrati.**

Confronto tra "current mode" e "voltage mode". Translinearità e "current conveyors". Strutture fondamentali e loro applicazioni. Risposta in frequenza, comportamento reale, limiti ultimi. Esempi di progetto, in particolare di amplificatori per strumentazione.

#### **7. Amplificatori a commutazione.**

Problemi connessi con l'amplificazione in continua. Struttura degli amplificatori a commutazione. Caratteristiche degli interruttori elettronici. Ricostruzione del segnale, problemi di fedeltà. Risposta in frequenza. Esempi

## 7. Amplificatori a larga banda in tecnologia Ga As.

Caratteristiche generali dei dispositivi e della tecnologia Ga As. Considerazioni generali di progetto. Rumore. Distorsione. Soluzioni circuitali di base. Amplificatori operazionali.

### *Esercitazioni*

In considerazione della materia trattata e dell'approccio di tipo progettuale non esiste sostanziale distinzione tra lezioni ed esercitazioni che si svolgeranno per un complesso di 8 ore settimanali.

### *Modalità di esame*

L'esame consiste di una prova orale.

### *Libri consigliati*

Sono disponibili appunti e tracce delle lezioni.

Riferimenti bibliografici precisi verranno forniti durante lo svolgimento del corso.

### *Nota per gli studenti*

L'insegnamento vuole avere taglio sostanzialmente progettuale.

Gli argomenti elencati nel programma vengono svolti in tale spirito e quindi, di anno in anno o a seconda delle necessità, gli esempi di progetto potranno essere variati.

## MICROONDE

AG0041

Prof. Giuseppe MACCHIARELLA

### *Programma d'esame*

- 1. Generalità sull'uso delle gamme di frequenza delle "microonde".**
- 2. Giustificazione dell'applicazione dei modelli elementari monomodali di linee di trasmissione alle linee di trasmissione multimodali.** Richiami sulla teoria dei campi e.m. Confronto fra mezzi isotropi e non isotropi. Descrizione tensoriale dei mezzi non isotropi. Principali teoremi dei campi e.m. che verranno utilizzati nel corso e loro estensione ai mezzi non isotropi. Propagazione guidata senza perdite di onde elettromagnetiche piane. Modi TEM, TE e TM. Estensione al caso di propagazione guidata con perdite. Giustificazione dei modelli elementari monomodali di linee di trasmissione. Cenni alla propagazione guidata di onde elettromagnetiche non piane. Cenni alla propagazione in guide multimodali. Propagazione in mezzi non isotropi.
- 3. Modelli elementari monomodali di linee di trasmissione.** Descrizioni analitiche e grafiche dello stato stazionario sulle linee, utilizzando parametri diversi in presenza od in assenza di perdite. Linee non uniformi. Comportamento di linee di trasmissione accoppiate.
- 4. Caratteristiche di alcune linee di trasmissione per microonde.** Linee di trasmissione utilizzate nel modo principale. Linee bifilari, coassiali ed a striscia. Utilizzazione della trasformazione conforme per determinare le caratteristiche di tali linee. Guide d'onda rettangolari e circolari nel modo fondamentale. Guide d'onda circolari nel modo TE-01. Guide dielettriche e fibre ottiche.
- 5. Circuiti reciproci per microonde.** Definizione e proprietà di una giunzione tra linee di trasmissione. Definizione di circuito equivalente a costanti concentrate di un circuito a costanti distribuite. Estensione ai circuiti a costanti distribuite dei metodi descrittivi dei circuiti a costanti concentrate e di teoremi già noti della teoria delle reti. Uso delle matrici d'impedenza, di ammettenza, catena, di diffusione e di trasmissione. Esempi di circuiti ad una bocca (carico terminale, cavità risonante, terminale, ecc.). Esempi di circuiti a due bocche (cavità risonanti, attenuatori, trasformatori e in-

vertitori d'impedenze, filtri per microonde). Circuiti a tre bocche. Circuiti a quattro bocche (accoppiatori direzionali).

**6. Circuiti non reciproci per microonde.** Definizioni e proprietà generali. Esempi di circuiti a due bocche (isolatori, giratori). Esempi di circuiti a tre bocche (circolatori).

**7. Cenni sulle applicazioni di dispositivi non lineari a 2 terminali.** Dispositivi resistivi non lineari. Applicazioni come rivelatori di segnali, moltiplicatori di frequenza e convertitori di frequenza. Dispositivi reattivi non lineari. Applicazione nei convertitori di frequenza e moltiplicatori di frequenza.

**8. Cenni sulla amplificazione e generazione di segnali mediante dispositivi che presentano una resistenza negativa.** Dispositivi con resistenza negativa (Diodi tunnel, Diodi Impatt, TED). Applicazioni come oscillatori ed amplificatori. Amplificatori parametrici.

**9. Amplificazione mediante transistori.**

**10. Cenni sui tubi elettronici per microonde.** Principi generali. Amplificatori Klystron. TPO. Oscillatori Klystron reflex. Magnetron.

**11. Cenni sulle misure d'impedenza.** Linee fessurate. Ponti di impedenza. Misure panoramiche.

#### *Esercitazioni*

Esercitazioni numeriche e sperimentali.

#### *Libri consigliati*

Giovanni B. Stracca: *Teoria e tecnica delle microonde*, CLUP - CittàStudi, Milano, 1991.

Dispense del corso.

Robert E. Collin: *Foundations for microwave engineering*, McGraw-Hill Co.

## **MISSILISTICA**

**AK0113**

**Prof.ssa Liliana FERRI DEGLI ANTONI**

#### *Programma d'esame*

##### **Dinamica del missile:**

- Problemi balistici fondamentali
- Introduzione alla stabilizzazione dei missili balistici
- Missili alati
- ICBM
- Cenni alle traiettorie spaziali

##### **Guida:**

- Il sistema di guida
- Componenti fondamentali
- Il sistema di controllo
- Studio dei sistemi di guida

##### **Affidabilità e manutenibilità:**

- Introduzione ai concetti di affidabilità
- Predizione e modelli di affidabilità
- Analisi di affidabilità di specifici sistemi
- Introduzione ai concetti di manutenzione: manutenzione preventiva e programmata
- Considerazioni economiche.

**Tecniche di sopravvivenza:**

- Introduzione generale al problema
- Vulnerabilità
- Suscettibilità
- Sopravvivenza

*Esercitazioni*

Si svolgeranno parallelamente al corso e tenderanno ad un approfondimento degli argomenti trattati a lezione ed alla acquisizione numerico-pratica degli stessi.

*Libri consigliati*

Dispense, preparate durante il corso, saranno consegnate agli studenti.

*Precedenze*

Motori per aeromobili.

**MISURE ELETTRICHE**  
**Prof. Arnaldo BRANDOLINI**

**AH0008**

*Programma d'esame*

- 1. Definizione e qualità di una misura.** Concetto di misura di una grandezza. Fenomeni deterministici e fenomeni casuali. Errori sistematici ed accidentali. Determinazione degli errori. Principali cause di errore. Funzioni di correlazione temporale. Qualità di una misura: sensibilità precisione, accuratezza, affidabilità. Linearità di uno strumento: linearità integrale, linearità differenziale. Filtraggio dei segnali.
- 2. Elementi di metrologia.** Sistema di unità di misura SI e definizione operativa delle unità fondamentali. Il campione di corrente elettrica. Campioni di tensione. Effetto Josephson. Il condensatore campione calcolabile. Confronto tra condensatori campione. Schermatura nei circuiti elettrici di misura.
- 3. Trasduttori, sensori e convertitori.** Definizione di: trasduttore, sensore, convertitore. Definizione di segnale. Funzione di trasferimento. Errori dinamici. Tecniche di trasduzione. Classificazione dei trasduttori. Sensori elettrici. Sensori digitali. Derivatori, divisori di tensione, per c.c. e c.a. Trasformatori di misura induttivi, capacitivi, elettronici.
- 4. Metodi di misura.** Ponti in c.c. ed in c.a. Potenzimetri. Ponti e potenziometri automatici. Metodi di risonanza. Impiego di amperometri e voltmetri e wattmetri in c.c. e c.a. Costanti strumentali. Errori di fase, errori di indicazione. Misure in sistemi elettrici trifasi. Dipendenza ed indipendenza delle misure wattmetriche con inserzioni diverse in sistemi trifasi. Numero minimo di misure indipendenti. Teorema di Aron. Misure nei sistemi ad n conduttori.
- 5. Strumenti di misura elettrici.** Galvanometro elettromagnetico. Strumenti a ferromobile ed elettrodinamici. Misuratori di energia ad induzione. Misuratori statici di energia.
- 6. Sistemi di misura digitali.** Principi della conversione analogico-digitale nelle misure elettriche. Errori nei sistemi tempo discreti.
- 7. Applicazioni di laboratorio (esercitazioni).**  
Sistemi di misura delle grandezze elettriche in sistemi polifasi. Valori efficaci di tensione e corrente; potenza attiva e reattiva.  
Analisi armonica dei segnali.

Rumore nelle misure.  
Schermaggio dei sistemi di misura  
Rilievo di grandezze magnetiche.

*Esercitazioni Sperimentali.*

Sono obbligatorie.

*Modalità d'esame.*

L'esame consta di domande teoriche e di una parte sperimentale su temi delle esercitazioni.

*Testi consigliati:*

A. Brandolini, P. Regoliosi - *Misure elettriche*, ed. Masson, Milano.

G. Zingales - *Misure elettriche*, ed. UTET, Torino

A. Brandolini - *Elementi di strumentazione elettrica*, ed. CLUP, Milano.

M. Savino - *Fondamenti di scienza delle misure*, ed. NIS, Roma

A. Brandolini - *Appunti di Misure Elettriche*, Dip. di Elettrotecnica.

## MISURE ELETTRONICHE

AG0114

Prof. Elio BAVA

*Programma d'esame comune a tutti gli studenti*

**Principali sorgenti di incertezza nelle misure.** Incompletezza di modello, incertezza dei riferimenti, limiti di risoluzione, instabilità dei parametri ambientali. Caratteristiche metrologiche di uno strumento. La struttura del Sistema Internazionale di Unità con particolare riferimento alle unità elettriche e di tempo.

**Assegnazione delle incertezze di misura.** Incertezze di tipo A e di tipo B, legge di propagazione dell'errore. Incertezze di tipo A: stime di valor medio, di varianza e di varianza del valor medio. Numero di gradi di libertà. Misure non indipendenti: covarianza. Funzioni caratteristiche con esempi di applicazione. Caratterizzazione delle incertezze di tipo B. Incertezza combinata e gradi effettivi di libertà.

**Disturbi accoppiati ai sistemi di misura.** Principali tipi di accoppiamento dei disturbi al sistema di misura, rumore di modo normale e di modo comune. Riduzione del rumore di modo normale mediante filtri e metodo di integrazione. I principi della rivelazione diretta, della demodulazione sincrona, della rivelazione eterodina. Riduzione del rumore di modo comune con strumenti ad ingresso fluttuante e con guardia. Schermature.

**Voltmetri e multimetri numerali.** Voltmetri differenziali: potenziometrici, ad approssimazioni successive, a rampa analogica, a scaletta. Voltmetri ad integrazione: a conversione tensione-frequenza e tensione-tempo, a modulazione d'impulsi e a interpolazione. Metodi multirampa nelle fasi di salita e di discesa. Tecniche di dithering. Numero di bit equivalenti. Struttura di un multimetro.

**Misure di tempo, di periodo e di frequenza mediante contatore.** Cenni ai campioni di frequenza di tipo atomico e ai piezooscillatori. La misura di tempo e di frequenza con l'ausilio del contatore elettronico. Struttura dello strumento di misura. Condizionamento dei segnali di start e di stop, sensibilità di un contatore. Schemi funzionali di un contatore convenzionale e di un contatore reciproco. Analizzatore di frequenza e di intervallo di tempo. Misure di intervalli di tempo con tecniche di interpolazione. Incertezze di misura derivanti da quantizzazione, interpolazione, rumore nei circuiti

d'ingresso, fluttuazione della base tempi, differenti ritardi nei canali di start e stop. Tecnica di prescaler. Misure di frequenza in microonde con oscillatore di trasferimento e con convertitore eterodina.

**Misure di potenza a radiofrequenza.** Il metodo bolometrico con ponte di Wheatstone in equilibrio. Barretter e termistor. Errore di sostituzione, di efficienza, di disadattamento. Ponti di misura autobilanciati in c.c. e in a.c.

**Misure di impedenza.** Ponte di Wheatstone e doppio ponte di Kelvin, ponte a rapporto con comparatore di corrente, misure di resistenze molto elevate. Misure potenziometriche. I principali ponti in c.a.. Rappresentazioni di elementi circuitali schermati; divisori induttivi, metodi per realizzare rapporti di tensione in a.c.; equalizzatori di corrente. Ponte in quadratura. Il fattore di merito (Q) di un elemento circuital e sua misura mediante Q-metro (metodo di risonanza).

**Analisi temporale di segnali. Oscilloscopio analogico.** Il tubo a raggi catodici, deflessione statica e dinamica, elettrodo post-acceleratore. Schema a blocchi di un oscilloscopio analogico: generazione e sincronizzazione del dente di sega, base dei tempi semplice e doppia, sistema multitraccia.

**Oscilloscopio numerico.** Tubi a raggi catodici. Oscilloscopio a memoria numerica e oscilloscopio numerico.

**Analisi spettrale. Analizzatori analogici** per analisi simultanea e analisi sequenziale. Analizzatore con supereterodina; risoluzione spettrale e sensibilità; analisi di segnali ad onda continua e pulsanti. Misura precisa di frequenza di segnali al limite della sensibilità.

**Caratterizzazione delle instabilità di frequenza.** Modello matematico, definizione delle grandezze di interesse e delle relative densità spettrali di potenza. Metodi di misura nel dominio della frequenza. Definizione delle instabilità mediante le varianze di N e di 2 campioni adiacenti, proprietà di convergenza in funzione del tipo di rumore. Relazioni tra densità spettrali e instabilità temporali. Metodi di misura nei due domini con esaltazione delle fluttuazioni. Analisi numerica del rumore di frequenza

#### *Argomenti di carattere monografico*

**Misure in alta frequenza.** Introduzione alla matrice di diffusione all'uso dei diagrammi di flusso. Analizzatore vettoriale di reti e principi dei metodi multiporta per la determinazione dei parametri di diffusione.

**Campioni atomici di frequenza.** I principi di funzionamento del campione a fascio di Cs, del maser H, del campione al Rb con pompa ottica, la trappola di ioni (Hg+).

**Misure di impedenza a radiofrequenza.** Impedenzimetri, ponti autobilanciati, analizzatori vettoriali di impedenza: ponti a radiofrequenza.

**Caratteristiche di specifiche varianze per la stima di instabilità.** Varianza di Allan modificata, varianza di Hadamard con pesi a coefficienti binomiali. Stime di derive e modulazioni periodiche. Caratterizzazione delle instabilità di orologi per comunicazioni digitali.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni di tipo teorico richiamano con semplici esemplificazioni concetti e definizioni utili per il corso, trattano esempi che si ispirano agli argomenti delle lezioni o sono di introduzione a esercitazioni sperimentali. Queste ultime riguardano le possibili misure e le modalità di impiego dell'oscilloscopio analogico, dell'oscilloscopio digitale, del contatore elettronico e dell'analizzatore di spettro.

#### *Modalità d'esame*

Il programma d'esame consiste di una parte comune a tutti gli studenti e di una parte scelta tra gli argomenti monografici (2 su 4) e concordata con il docente. Tutti gli argomenti monografici saranno trattati durante le ore di lezione e di esercitazione. L'esame consiste in una prova scritta sulla

parte comune seguita da una prova orale che verterà anche sugli argomenti monografici scelti. Per l'ammissione all'orale è necessaria la sufficienza nello scritto.

#### *Libri consigliati*

Oliver-Cage: *Electronic measurements and instrumentation*, McGraw-Hill.

L. Benetazzo: *Misure elettroniche*, voi. 1: *Strumentazione analogica*, voi. 2: *Strumentazione numerica*, ed. CLUEP, Padova.

A. De Marchi, L. Lo Presti: *Incertezze di misura*, ed. CLUT - Torino.

N.C.Barford: *Experimental measurements.precision, error and truth*. John Wiley & Sons.

G.H. Bryant: *Principles of microwave measurements*. Peter Peregrinus Ltd.

E.Rubiola, A.De Marchi, S.Leschiutta: *Esercizi di Misure Elettriche ed Elettroniche*. CLUT - Torino  
Dispense in preparazione (CUSL e Segreteria Studenti).

### **MISURE E STRUMENTAZIONE NUCLEARI** **Prof. Armando FOGLIO PARA**

**A VOI 14**

#### *Programma d'esame*

Richiami sull'interazione delle particelle cariche e delle radiazioni elettromagnetiche con la materia. Interazioni dei neutroni.

Rivelatori di radiazioni nucleari a gas. Formazione dell'impulso nelle camere a ionizzazione, nel contatore proporzionale e nel contatore di Geiger-Mueller. Determinazione dei loro parametri operativi. Funzionamento a corrente.

Rivelatori a scintillazione. Principio di funzionamento. Scintillatori organici e inorganici. Tubi fotomoltiplicatori. Impieghi nel conteggio e nella spettroscopia di radiazioni  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e X.

Rivelatori a semiconduttore. Principio di funzionamento. Rivelatori a barriera superficiale, a compensazione di litio, a germanio iperpuro. Impieghi nella spettroscopia di radiazioni  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e X.

Rivelatori di neutroni. Contatori al B-10 e all'He-3, camere a fissione. Rivelatori di neutroni veloci. Misure di flussi neutronici mediante attivazione. Strumentazione impiegata nei reattori di potenza.

Altri rivelatori (cenni). Camere a nebbia e a bolle. Camere a scintilla e a multifili. Emulsioni nucleari. Rivelatori a tracce nei materiali plastici.

Tecniche di coincidenza. Taratura di sorgenti. Determinazione di schemi di decadimento. Coincidenze ritardate. Applicazioni dei convertitori tempo-ampiezza.

Statistica dei decadimenti radioattivi e dei conteggi nucleari. Distribuzioni di Bemoulli, di Poisson, di Gauss. Stima dei parametri di una distribuzione. Test del  $\chi^2$ - Analisi di curve di decadimento, elaborazione di spettri differenziali.

Applicazioni varie delle radiazioni nucleari. Analisi per radioattivazione e per fluorescenza.

Tecniche diagnostiche per la fusione termonucleare controllata. Diagnostiche nucleari: spettrometria di neutroni, di particelle  $\alpha$ , di radiazioni X, di particelle neutre. Cenni sulle diagnostiche ottiche ed elettromagnetiche. Panorama delle tecniche in uso nelle grandi macchine toroidali.

#### *Esercitazioni*

L'insegnamento prevede sedute di laboratorio da svolgere in squadre di 4-5 allievi ed aventi per argomento gli impieghi del contatore di Geiger, le interazioni delle radiazioni  $\beta$ , le camere a ioniz-

zazione, i rivelatori a scintillazione, i rivelatori a semiconduttore, i rivelatori per neutroni, l'elaborazione statistica dei dati nucleari ed in genere le applicazioni delle radiazioni e dei rivelatori.

#### *Libri consigliati*

- 1) A. Foglio Para: *Misure e Strumentazione Nucleare*. Dispense del Corso, CUSL.
- 2) A. Foglio Para: *Laboratorio di Misure Nucleari*, Dispense per le esercitazioni di laboratorio, CUSL.
- 3) G.F. Knoll - *Radiation Detection and Measurements*. John Wiley and Sons, New York, 1989.

## **MISURE GEODETICHE** **Prof. Riccardo BARZAGHI**

**AX0009**

### *Programma d'esame*

#### La Geodesia Fisica

Il campo della gravità terrestre. Nozioni elementari sulle funzioni armoniche. Il geoide. L'ellissoide terrestre. Il campo normale della gravità. Il campo anomalo della gravità. Relazioni tra i differenti funzionali del potenziale anomalo T.

Metodi di stima del geoide: la formula di Stokes. La formula di Vening-Meinesz. Problemi connessi al calcolo di un geoide locale. I modelli globali del potenziale terrestre. Le riduzioni topografiche. La riduzione di Bouguer. Il principio dell'isostasia. Le riduzioni isostatiche. La "residual terrain correction". La stima di un geoide locale mediante la tecnica del "remove-restore".

La formula di Stokes in approssimazione piana. L'uso delle FFT per il calcolo della formula di Stokes in approssimazione piana e per il calcolo della "residual terrain correction". Il geoide italiano ITALGE095. Impieghi del geoide e sua rilevanza pratica.

#### I sistemi di riferimento in Geodesia

Geometria dell'ellissoide. Coordinate connesse all'ellissoide. Sistema di riferimento cartesiano locale e cartesiano geocentrico. Coordinate naturali. Quote geopotenziali. L'orientamento locale dell'ellissoide terrestre. Trasformazioni tra sistemi di coordinate.

#### La Geodesia da satellite: GPS e Radaraltimetria

Dinamica di un corpo orbitante attorno alla Terra. Cenni al calcolo delle orbite dei satelliti artificiali.

Il metodo GPS. Struttura del segnale GPS e sua elaborazione. Misure di pseudo-range e misure di fase. Analisi delle misure di fase. Correzione ionosferica e troposferica. Bias degli orologi. Differenze prime, differenze doppie, differenze triple in misure di fase. Individuazione e rimozione dei cycle slip. Stima della ambiguità di fase iniziale. Compensazione dei dati GPS. Il programma TRIM-VEC. Applicazioni del metodo di posizionamento e rilievo basato su misure GPS. Geoide e GPS.

Il metodo di osservazione radaraltimetrico. Compensazione a minimi quadrati delle osservazioni mediante equazioni ai "cross-over". La stima della superficie topografica del mare. Applicazione del metodo alla stima delle correnti stazionarie del Mediterraneo.

#### Misure di gravità e loro interpretazione

Misure di gravità assoluta. Misure di gravità relativa. Gravimetri assoluti e reattivi: principi di funzionamento. Interpretazione di dati di gravità. Il problema inverso della gravità. L'uso delle misure gravimetriche per la stima di superfici di discontinuità nella densità. I metodi "trial and error".

*Esercitazioni*

Si svolgeranno esercitazioni sull'uso di ricevitori GPS e di programmi di compensazione dei dati GPS.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in un colloquio sugli argomenti del corso.

*Libri consigliati*

W.A. Heiskanen, H. Moritz; *Physical Geodesy*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1967.

J. Kovalevsky; *Lecture in Celestial Mechanics*. In Theory of Satellite Geodesy and Gravity field determination.

F. Sansò and R. Rummel Eds., *Springer Verlag*, Berlin Heidelberg, 1989.

Dispense del corso.

**MISURE MECCANICHE, TERMICHE E COLLAUDI**  
**Prof. Marzio FALCO, Michele GASPARETTO**

**AR0104**

*Programma d'esame*

**Introduzione.** La misura e l'operazione del misurare: errori.

**Studio dello strumento e significato delle sue indicazioni.** Caratteristiche dello strumento di misura sia in relazione al tipo di misura sia in relazione al sistema fisico cui appartiene la grandezza da misurare. Sensibilità, giustezza, fedeltà, ecc. Risposta di uno strumento ad eccitazioni dinamiche. Influenza delle condizioni ambientali sullo strumento. Analisi dei vari errori dovuti allo strumento.

**Interpretazione delle misure.** Cenni sui fondamenti della teoria degli errori.

**Misure di grandezze meccaniche.** Misure di lunghezza, di deformazione, di spostamento, di velocità, di portata, di accelerazione. Misure di grandezze caratteristiche delle vibrazioni. Misure di massa, di forza, di coppia, di pressione.

**Misure di temperatura.** Scale di temperatura. Scala internazionale della temperatura. Termometri a dilatazione, a resistenza elettrica, termocoppie, pirometri a irraggiamento, metodi speciali e precauzioni particolari.

**Circuiti e apparecchiature analogiche per la misurazione.** Circuiti a ponte e potenziometrico. Oscilloscopi, oscillografi, registratori, amplificatori, ecc. Trattamento analogico dei segnali.

**Trattazione digitale delle misure.** Strumentazione per l'acquisizione e la elaborazione digitale dei segnali, problemi legati al campionamento ed alla discretizzazione.

**Norme di collaudo.** Fondamenti di collaudo di macchine utensili, di turbine, di compressori, ecc.

*Libri consigliati*

A. Capello: *Misure Meccaniche e Termiche*, C.E.A., Milano.

Dispense integrative del corso a cura del Dipartimento di Meccanica.

J. Bendat and A.G. Piersol: *Engineering applications of correiation and spectral analysis*, John Wiley and Sons.

Ernest O. Doebelin: *Measurement systems, application and design*, McGraw-Hill Publishing Company.

Toraldo di Francia: *L'indagine del mondo fisico*, Einaudi, Torino 1976.

**UNIFICAZIONI:**

- UNI-CNR 10.003-74      - Unità di misura.
- UNI 4546 (nov. 1984)    - Misure e misurazioni - Termini e definizioni fondamentali.
- CNR-CEI 66-2 (1976)    - Definizione di qualità di funzionamento delle apparecchiature elettroniche di misura.
- CEI 85-3 (giu. 1991)    - Strumenti di misura elettrici, definizioni e prescrizioni.

**MISURE PER L'AUTOMAZIONE E LA PRODUZIONE INDUSTRIALE****AH0115****Prof. Franco CASTELLI***Programma d'esame***Parte I - Errori delle osservazioni e analisi statistico-probabilistica dei risultati delle misure.**

**A)** Errori delle osservazioni e loro trattamento statistico.

**B)** Elementi di statistica: definizione di probabilità; operazioni elementari fra probabilità; variabili aleatorie e statistiche e loro rappresentazione; parametri rappresentativi di una distribuzione di probabilità e loro proprietà; misure in numero finito e piccolo; distribuzioni di probabilità speciali: normale, di Student, binomiale, dei valori estremi, di Weibull, del  $\chi^2$ ; il metodo dei minimi quadrati, della verosimiglianza e della minima deviazione standard; interpolazione, regressione e correlazione; analisi delle differenze significative; controllo statistico della qualità; collaudo statistico; analisi statistica delle scariche elettriche nei dielettrici.

**Parte II - Misure per via elettrica di grandezze non elettriche.**

**A)** Concetto di trasduttore, la caratteristica statica e quella dinamica; trasduttori: a variazione di impedenza (resistenza, auto e mutua induttanza, capacità); a correnti parassite ed i loro trasmettitori; a macchina elettrica, statica (a trasformatore, bifase, goniometro elettromagnetico, resolver, inductosyn, sinchros) o rotante (generatrici tachimetriche a dinamo, con o senza spazzole, sincrono, asincrono); a strumento di misura elettrico; a convertitore non elettrico per trasduttori di: pressione, temperatura; la misura interferometrica di spostamenti (la sorgente laser); uso di strumenti a servomotore; ad effetto generatore elettrico: termoelettrico, piezoelettrico, fotovoltaico. Misura di grandezze geometriche, meccaniche, spessori, livelli, spostamenti, forze (bilance automatiche, l'elettrometro di Kelvin) coppie, pressioni, velocità, accelerazioni. Misura di grandezze termiche. Misura di grandezze ottiche. Il comportamento dinamico dei trasduttori e dei convertitori.

**Parte III - Sensori per la robotica.**

I sottosistemi del robot intelligente - suo apparato sensoriale per la:

**A)** Locomozione, sensori di: apposizione; b) riconoscimento del tracciato da percorrere; c) prossimità uso del laser e degli ultrasuoni;

**B)** Manipolazione, dotazioni della "pelle artificiale", classificazione dei suoi sensori: a) tattili; b) della pressione esercitata; c) della temperatura; d) di riconoscimento della forma, riconoscimento ottico dei bordi, occhio nella mano; e) di prossimità, inizio-fine corsa; sensori tattili, ottici e optoelettronici, piezoelettrici, la piezo- piro- e ferro- elettricità.

**Parte IV - Convertitori elettrici.**

A) Convertitori per alta tensione: TV capacitivo; convertitori elettroottici, il convertitore di corrente ad effetto Faraday; convertitori di tensione ad effetto Pockels e Kerr; convertitori di corrente: elettroottico a modulazione di frequenza, a risonatore iperfrequenza YFG. Convertitori numerico-analogici e analogo-numeric.

B) Convertitori magnetoelétrici: ad effetto Hall classico e quantistico, magnetoresistori, magnetodioidi; moltiplicatori wattmetrici e convertitore di corrente magnetoelétrici.

C) Modulatori e rivelatori per telemisure e la teleconduzione: in ampiezza; in frequenza.

D) Convertitori di precisione: generatori di d.d.p. campione a diodi Zener; convertitori resistivi: di rapporto 1:100 (circuito Hamon), divisori Kelvin-Varley, derivatori: per cc, Pisoshunt; per correnti impulsive, shunt coassiale e piatto del tipo a sandwich; convertitori induttivi: divisori con trasformatore a decadi, il comparatore di c.a. e quello di c.c. normale ed a superconduttore; rivelatore quantico di flusso (lo SQUID); convertitori per strumenti campione di trasferimento c.a./c.c. tipo: elettrodinamici normali e autocompensati, elettrostatici, termoelettrici, uni e multigiunzione, con rivelatore d'energia termica e riscaldatore piatto tipo sandwich, studio delle sue caratteristiche con la frequenza; convertitore corrente-induzione- frequenza basato sulla frequenza libera di precessione ed il rapporto giromagnetico del protone; convertitore tensione-frequenza ad effetto Josephson.

**Parte V - Elementi di metrologia di precisione.**

A) Il problema delle schermature in corrente alternata (impedenze a due o quattro morsetti e tre o cinque terminali). Confronto delle impedenze campione a più di 2 terminali, misure in audiofrequenza e in alta tensione.

B) Il confronto di impedenze a due ed a quattro morsetti e la loro misura mediante ponte con lati di rapporto a trasformatore (per rapporto di tensioni o di correnti), ponti con trasformatore di misura. Capacità calcolabile col teorema di Thompson e Lampard; campioni fondamentali di tensione ad effetto Josephson e di resistenza ad effetto Hall quantistico.

C) Il trasferimento della precisione dei campioni in corrente continua alle misure in corrente alternata. La misura di potenza ed energia di sistemi con onde fortemente deformate.

**Parte VI - Telemisure.**

Concetto di telemisure. - Trasmissione e totalizzazione di più misure con trasformatori di misura di corrente e di tensione. - Trasmissione di una misura per variazione di resistenza, di fase, di frequenza. - Sistema di telemisura a durata di impulsi, a numero di impulsi, a frequenza di impulsi, trasmissioni multiplex ad onde convogliate, in alta tensione; mediante convertitori elettroottici. La trasmissione di segnali mediante modulazione in ampiezza o in frequenza di una portante, modulatori, rivelatori, canali.

**Parte VII - Prove sugli impianti, macchine e apparecchi elettrici.**

A) Verifica dell'efficienza di un sistema di messa a terra.

B) Ricerca dei guasti nei cavi.

C) Prove dirette e dinamiche di un motore.

D) Analisi delle scariche elettriche nei dielettrici: generalità; determinazione sperimentale dei parametri: prove di breve e lunga durata; valutazione statistica dei risultati di prova, classificazione delle prove. Analisi statistica dei metodi di prova.

E) Misura delle scariche parziali negli isolanti ad alta tensione.

**Parte Vili - Elaborazione automatica delle misure.**

**A)** Richiami sui tipi di misure richiesti nei laboratori industriali (prove, norme, precisione richiesta nelle misure). Scopi e obiettivi dell'automazione: riduzione dei tempi di esecuzione e dei costi; miglioramento della qualità delle misure (affidabilità, numero e tipo di informazioni ottenibili in "real time" e in tempi successivi, memorizzazione dei dati storici).

**B)** Acquisizione delle misure: criteri di scelta di un sistema automatico di acquisizione dati; mercato attuale dei componenti; gestione del sistema di misura; lettura e conversione digitale delle misure, organizzazione e memorizzazione dei dati di misura acquisiti.

**C)** Elaborazione e restituzione dei dati: trattamento dei dati di misura acquisiti; elaborazione locale con micro/mini-calcolatori o elaborazione centralizzata; rappresentazione dei risultati richiesti; gestione degli archivi dei dati primari acquisiti durante le prove.

*Esercitazioni teoriche sperimentali*

Consistono in rilievi sperimentali relativi al programma del corso, svolti anche durante visite tecniche a laboratori e sale prove industriali e nell'elaborazione numerica dei risultati di prova di collaudo utilizzando procedimenti normalizzati.

*Libri consigliati*

Dispense del professore presso il professore stesso.

**MISURE PER LA DIAGNOSTICA E L'AFFIDABILITA' NEI SISTEMI MECCANICI AR0107**  
**Prof. Andrea VANIA**

*Programma d'esame***ACQUISIZIONE DATI.**

- Tecniche di digitalizzazione dei segnali analogici: campionamento, filtraggio.
- Tecniche di elaborazione dei dati: trasformate varie, riconoscimento dei contenuti in termini deterministici ed in termini aleatori.
- Memorizzazione: memorizzazione dei segnali acquisiti, elaborati; collassamento temporale dei dati. Individuazione dei valori medi, delle varianze, delle tendenze temporali.
- Correlazione delle varie grandezze: indice di regressione, funzioni di correlazione varie, etc.

**MODELLI DIAGNOSTICI.**

- Costruzione di modelli delle macchine e degli impianti a fini diagnostici sia come mezzo per il calcolo di grandezze non direttamente misurate o misurabili sia come mezzo per la individuazione delle correlazioni fra grandezze misurabili ed i malfunzionamenti che le provocano.
- Individuazione della dinamica di peggioramento dei malfunzionamenti, definizione dei margini di sicurezza e della vita residua.

**DIAGNOSTICA.**

- Scelta delle grandezze da controllare per l'individuazione dei malfunzionamenti.
- Esame comparato dei risultati sperimentali e dei risultati dai modelli per la individuazione precoce dei malfunzionamenti.
- Elaborazione di tecniche sperimentali, da compiersi da parte degli operatori di impianto, per individuare in maniera quantitativa i malfunzionamenti e corrispondentemente la vita residua.
- Determinazione della tempistica della manutenzione programmata.
- Banche dati per la memorizzazione del comportamento di impianti simili.
- Sviluppo di sistemi esperti basati sulle banche dati. Elaborazione di tabelle di comportamenti attesi.

*Libri consigliati*

Appunti delle lezioni

Richard H. Lyon: *Machinery noise and diagnostics*, Butterworths.

J. Bendat, A. Piersol: *Engineering application of correlation and spectral analysis*, John Wiley & Sons.

Mervin H. Jones: *Condition monitoring 84*, Pineridge Press.

Rao, Au, Griffiths: *Condition monitoring and diagnostic engineering management*, Chapman and Hall.

**MODELLISTICA DEI SISTEMI ELETTROMECCANICI****AH0108****Prof. Gabrio SUPERTI FURGA***Programma d'esame*

**1. Generalità.** Principi generali delle azioni elettromeccaniche. Calcolo delle forze dovute a uno o più circuiti elettrici. Equazioni del mutuo induttore tempo-variante. Magnet permanenti. Modello dinamico di un sistema elettromeccanico. Tecniche di simulazione numerica dei sistemi elettromeccanici.

**2. Strutture rotanti.** Calcolo di auto e mutue induttanze in avvolgimenti polifase. Approssimazione radiale. Strutture isotrope e anisotrope. Espressioni generali della coppia elettromagnetica: coppia di eccitazione e di riluttanza.

**3. Macchina a collettore.** Formulazione del modello dinamico. Eccitazione indipendente, parallela, serie, mista. Funzioni di trasferimento elettriche e ed elettromeccaniche. Metodi di regolazione.

**4. Analisi dei sistemi trifase.** Trasformazione di Park. Vettori spaziali in transitorio e a regime. Regime periodico e serie di sequenze armoniche. Scelta degli assi di riferimento. Potenze, energie e valori efficaci trifase. Applicazione della trasformazione di Park a reti a simmetria trifase.

**5. Macchina asincrona trifase.** Formulazione del modello dinamico del quinto ordine. Macchine a rotore avvolto, a gabbia, a gabbia profonda. Indicazione del modello. Funzioni di trasferimento elettriche. Circuiti equivalenti. Identificazione del modello. Connessione in rete. Funzioni di trasferimento elettriche. Linearizzazione e frequenze proprie. Funzionamento in regime deformato. Modello ridotto del terzo ordine.

**6. Macchina sincrona trifase.** Formulazione del modello dinamico del settimo ordine. Identificazione del modello. Circuiti equivalenti. Connessioni in rete. Funzioni di trasferimento elettriche. Linearizzazione e frequenze proprie. Funzionamento in regime deformato. Modelli ridotti del quinto, terzo e secondo ordine. Modelli transitori.

**7. Sistemi elettrici di potenza.** Modelli dinamici dei componenti di un sistema elettrico: trasformatori, linee, carichi. Interconnessione con macchine sincrone e asincrone. Modelli generali di reti elettriche di potenza. Casi semplici di analisi di stabilità.

*Esercitazioni*

Sono di tipo analitico-numerico e prevedono l'uso autonomo di PC per simulazioni numeriche. I principali argomenti trattati sono:

Transitori di un mutuo induttore trifase. Macchina asincrona: transitorio di inserzione; avviamento; corto circuito (velocità costante e variabile); gradino di carico (analisi linearizzata e non lineare); modelli ridotti e confronti con il modello completo. Macchina sincrona: analisi di regime; corto circuito (velocità costante e variabile, rete di potenza infinita e finita); errato parallelo; apertura del corto circuito, analisi di stabilità e confronti tra modelli.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale. Per essere ammessi all'esame gli allievi dovranno aver frequentato le esercitazioni, presentando almeno due settimane prima dell'esame, le relative relazioni redatte correttamente. In mancanza, l'ammissione all'esame, è subordinata al superamento di una prova scritta su argomenti oggetto delle esercitazioni.

*Libri consigliati*

Dispense: *Elementi di dinamica delle macchine elettriche*, a cura del Dipartimento di Elettrotecnica.  
G.J. Retter: *Matrix and space-phasor theory of electrical machines*. Akadémiai Kiadó, Budapest 1987.

**MODELLISTICA E CONTROLLO DEI SISTEMI AMBIENTALI**  
**Prof.ssa Giovanna FINZI RAMELLA****AG0256***Programma d'esame***1. Introduzione.**

Il ruolo dei modelli di simulazione, previsione, gestione e pianificazione nei problemi di inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo. Importanza di un approccio integrato. Acquisizione dei dati, modellistica e centri di difesa ambientale. Definizione di Sistema di Supporto alle Decisioni.

**2. Dinamica degli inquinanti.**

Bilanci di massa ed energia. Generalità sulle equazioni di trasporto e dispersione. Reazioni chimiche e loro modellizzazione. Approccio euleriano e lagrangiano. Schemi di integrazione numerica. Emissioni concentrate e distribuite; condizioni al contorno. Problemi "mal posti". Equazioni di trasporto mono e bidimensionali.

**3. Inquinamento atmosferico.**

Elementi di meteorologia e modellizzazione di variabili meteorologiche al suolo (vento, temperatura, altezza dello strato di nebbia,...). Modelli di simulazione di inquinanti inerti e loro uso nei problemi di localizzazione e dimensionamento degli impianti industriali e dei servizi sul territorio. Modelli stocastici per la previsione degli episodi critici in aree urbane. Gestione in tempo reale delle emissioni industriali. Modellizzazione dello smog fotochimico, delle piogge acide, dell'ossido di carbonio. Analisi quantitativa degli effetti su flora, fauna e materiali.

**4. Inquinamento idrico.**

Modellistica dell'inquinamento fluviale da sostanze biodegradabili. Modelli chimici (Streeter-Phelps, Dobbins,...) e modelli ecologici. Cenni ad alcuni codici di calcolo. Dimensionamento e localizzazione degli impianti di trattamento. Uso dei modelli nel contesto normativo nazionale. Piani di risanamento di bacino. Previsione degli episodi critici e controllo degli scarichi. Modellistica dell'eutrofizzazione ed applicazioni a casi di inquinamento lacustre.

**5. Valutazione di impatto ambientale e pianificazione territoriale.**

Interazioni aria-acqua-suolo nei problemi di pianificazione. Indicatori ambientali, obiettivi e vincoli. La valutazione di impatto ambientale. Normativa CEE per la valutazione di impatto ambientale. Schemi di tassazione per il controllo della qualità ambientale. Metodi di ottimizzazione applicati alla valutazione dei costi di abbattimento delle emissioni inquinanti e alla localizzazione delle reti di monitoraggio ambientale. Studi di casi.

**6. Sistemi informativi per la difesa ambientale.**

Tecniche di rilevamento, archiviazione e gestione automatica dei dati. Tecniche di visualizzazione dei dati geografici. Sistemi di supporto alle decisioni e sistemi esperti.

## 7. Esercitazioni

Verranno svolte esercitazioni a calcolatore, al fine di apprendere l'utilizzo di codici di simulazione e previsione di variabili ambientali, sulla base di scenari riferiti a casi reali industriali e urbani.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

### *Libri consigliati*

G.Finzi, G. Brusasca: *La Qualità dell'aria; Modelli Previsionali e Gestionali*, Masson, 1991.

G.Finzi, A. Visioli, M. Volta: *Analisi e Controllo di Sistemi Dinamici*. Un Laboratorio Informatico, McGrawHill, 1996.

Rinaldi, Soncini-Sessa, Stephes, Tamura: *Modeling and Control of River Quality*, McGraw Hill, 1979.

## **MODELLISTICA E GESTIONE DELLE RISORSE NATURALI**

**AG0257****Prof. Rodolfo SONCINI SESSA**

### *Programma d'esame*

#### **1. Introduzione.**

Risorse e riserve. Risorse e tecnologie disponibili. Risorse rinnovabili e non-rinnovabili. Esauribilità delle risorse. Trasformazione, distribuzione e consumo di risorse. Strutture decisionali. L'uso dei modelli di simulazione e previsione. Nessi tra pianificazione e gestione. Formalizzazione del problema di gestione.

#### **2. Economia delle risorse, politiche di gestione.**

Elementi di economia marginalista: domanda e offerta, funzioni di produzione, il mercato e l'equilibrio, la teoria del benessere. Esternalità, beni pubblici e monopolio. Il ruolo del tempo. Criteri per l'intervento pubblico. Analisi costi-benefici: la valutazione dei costi e dei benefici, il problema del tasso di sconto, l'efficienza e la redistribuzione del reddito. Limiti dell'impostazione marginalista. Conflittualità tra produzione e protezione ambientale. Analisi costi-efficacia e analisi a molti obiettivi. Analisi di impatto ambientale. Processi decisionali e politiche di gestione. Costi e realizzabilità di sistemi informativo-decisionali.

#### **3. Le risorse non-rinnovabili.**

Il problema dello sfruttamento ottimo. Monopolio e mercato concorrenziale. Esplorazione, innovazione tecnologica, sostituibilità e curva di domanda. Il ruolo della simulazione nella valutazione della domanda futura (scenari). La struttura del sistema economico e le materie prime: implicazioni nelle funzioni obiettivo. Modelli di pianificazione e gestione dello sfruttamento. L'allocazione temporale ottima. Un esempio: le risorse energetiche. Scarsità delle risorse e sviluppo: i modelli globali.

#### **4. Le risorse rinnovabili.**

Modelli di crescita di una popolazione. Analisi dei dati e taratura dei modelli. Crescita naturale e relazione sforzo-rimozione. Massimo rendimento sostenibile. Risorse ad accesso aperto. Modello di Schaefer. Possibilità di estinzione. Calcolo delle curve di offerta. Variabili di controllo. Politiche di gestione: tasse, quote di prelievo individuali e totali, licenze, diritti di proprietà, accordi internazionali. Vincoli e funzioni obiettivo. Problemi di controllo ottimo. Modelli discreti con classi di età. I modelli di Beverton-Holt. Modelli di competizione tra specie. Il modello di Lotka-Volterra. Modelli di gestione in presenza di più classi di età e/o specie interagenti.

**5. Analisi dettagliata di una risorsa: Tacqua.**

Raccolta, trasmissione e archiviazione dei dati. Banche di dati geografiche. Analisi dei dati: piene, magre. Modelli idrologici e ricostruzione dei dati mancanti. Serbatoi e reti idriche. Scopi della regolazione. Valutazione dei benefici e dei danni. Previsioni della disponibilità di risorsa a breve e medio termine. Domanda idrica. Variabili di decisione e politiche di gestione. Le regole operative. Regolazione di un serbatoio. Politiche in anello aperto, in anello chiuso, compensazione. Scelta iniziale della politica di gestione: ottimizzazione parametrica e funzionale. Il miglioramento della gestione dopo un periodo di esperienza. Il valore dell'informazione e l'uso dei predatori. Problemi di pianificazione e gestione di reti idriche di grandi dimensioni. Sistemi decentralizzati. Coordinamento tra domanda e offerta. Le reti di rilevamento idrometeorologico. Loro ottimizzazione. Sistemi digitali centralizzati e decentralizzati. Banche dati.

L'inquinamento: descrizione del problema aspetti biologici, aspetti economici. Modelli di simulazione della qualità dell'acqua in fiumi e laghi. Taratura dei modelli. Strumenti di intervento e pratica implementabilità. Modelli di pianificazione e gestione della qualità dell'acqua. Gestione congiunta di qualità e quantità.

*Programma delle esercitazioni*

Il programma comprenderà:

- 1) **Esercitazioni al terminale:** in cui gli allievi effettueranno piccoli studi di casi reali con software da loro preparato o software già disponibile.
- 2) **Studi di casi:** che, per quanto possibile, saranno presentati dagli esperti che li hanno realizzati.

*Libri consigliati*

A lezione verranno distribuiti appunti e, su alcuni argomenti, fotocopie di articoli.

**MODELLISTICA E SIMULAZIONE DEI SISTEMI MECCANICI**  
**Prof. Giorgio DIANA**

AR0132

*Programma d'esame***Classificazione dei sistemi meccanici:**

- sistemi meccanici dotati di moto in grande e moto in piccolo; linearizzazione delle equazioni del moto nell'intorno della posizione di quiete o di regime; stabilità del moto perturbato nell'intorno di tali posizioni.

**Sistemi dissipativi ad 1 grado di libertà:**

- scrittura delle equazioni del moto; metodo degli equilibri dinamici; metodo dei lavori virtuali; l'equazione di Lagrange; equazioni lineari e non; linearizzazione delle equazioni di moto nell'intorno della posizione di quiete; moto libero non smorzato: frequenze proprie; moto libero smorzato: calcolo del transitorio; moto forzato: risposta in frequenza.

**Sistemi dissipativi a 2-n gradi di libertà:**

- scrittura delle equazioni del moto in termini scalari e matriciali: metodo degli equilibri dinamici; equazioni di Lagrange: coordinate fisiche, coordinate lagrangiane indipendenti, la funzione dissipativa;

- scrittura delle equazioni non lineari di un sistema meccanico dotato di moto in grande; tecniche Multi-Body: definizione della cinematica di un sistema meccanico con tecniche matriciali, equazioni di Lagrange in forma matriciale, metodo di riduzione delle variabili e metodo dei moltiplicatori di Lagrange;

- linearizzazione delle equazioni nell'intorno della posizione di quiete, simmetria della matrice di massa, rigidità e smorzamento;
- moto libero non smorzato: frequenze proprie e modi principali di vibrare; moto libero smorzato: calcolo del transitorio; moto forzato: risposta in frequenza; approccio modale; coordinate principali; ortogonalità dei modi principali di vibrare;
- scrittura delle equazioni del moto forzato in coordinate principali, componente lagrangiana delle forzanti; introduzione dello smorzamento in coordinate principali.

**Tecniche di identificazione modale:**

- definizione sperimentale delle frequenze proprie e dei relativi modi principali di vibrare; determinazione sperimentale dello smorzamento strutturale; definizione della massa generalizzata modale.

**Sistemi continui (ad infiniti gradi di libertà):**

- vibrazioni trasversali nelle funi; vibrazioni trasversali nelle travi; vibrazioni longitudinali nelle travi; vibrazioni torsionali nelle travi; condizioni al contorno: calcolo frequenze proprie e modi principali di vibrare; calcolo della soluzione a regime del problema forzato (approccio diretto);
- condizioni iniziali, problemi di transitorio, analisi dell'integrale generale dell'equazione nel moto libero; approccio modale in coordinate principali: trasformazione di coordinate; introduzione dello smorzamento strutturale e isteretico.

**Metodi di discretizzazione dei continui: il metodo degli elementi finiti**

- introduzione: la funzione di forma; elemento finito fune (matrice elastica e di massa in coordinate locali); elemento finito trave (matrice elastica e di massa in coordinate locali); elemento finito trave tesata (matrice elastica e di massa in coordinate locali); cenni ed altri tipi di elementi finiti (piastra, membrana, etc.);
- coordinate locali, coordinate globali, matrici di trasformazione delle coordinate; calcolo delle forze generalizzate; assemblaggio del modello completo; condizioni al contorno; calcolo frequenze proprie e modi principali di vibrare; calcolo della risposta a forzanti assegnate o a spostamenti assegnati;
- problemi non lineari: metodi di integrazione numerica; linearizzazione delle equazioni di moto nell'intorno della posizione di equilibrio statico, definizione della posizione di equilibrio statico.

**Comportamento dei sistemi vibranti a forzanti aleatorie:**

- definizione di densità di potenza spettrale; funzione di trasferimento armonico dei sistemi vibranti; risposta di un sistema lineare e non ad un ingresso aleatorio; esempi di applicazioni (sismica, turbolenza del vento, moto ondoso).

**Sistemi non conservativi (sistemi immersi in campi di forze non conservative):**

- definizione di sistemi conservativi e non, immersi in campi di forze; sistemi vibranti ad 1 grado di libertà: trattazione generale, scrittura delle equazioni del moto e loro linearizzazione; soluzione delle equazioni di moto, discussione delle condizioni di stabilità; campi di forze posizionali e funzioni della velocità; esempi applicativi;
- definizione delle forze agenti su un corpo investito da una vena fluida, instabilità aerodinamica; sistemi vibranti a 2 gradi di libertà; trattazione generale, scrittura delle equazioni di moto e loro linearizzazione; soluzione delle equazioni di moto, discussione delle condizioni di stabilità; campi di forze posizionali e funzioni della velocità; esempi applicativi;
- instabilità da flutter di profili alari, scrittura delle equazioni, condizioni di stabilità; instabilità di una sala di un convoglio ferroviario, scrittura delle equazioni, condizioni di stabilità;
- sistemi vibranti ad n gradi di libertà; trattazione generale, scrittura delle equazioni del moto e loro linearizzazione; soluzione delle equazioni di moto, discussione delle condizioni di stabilità.

**Dinamica dei rotori:**

- problemi correlati alla dinamica dei rotori; schematizzazione di un rotore reale; caratterizzazione di un modello matematico dei cuscinetti (a rotolamento e a lubrificazione idrodinamica), rigidità e smorzamenti equivalenti del problema linearizzato;
- i cuscinetti lubrificati: l'equazione di Stokes-Navier per la teoria della lubrificazione; l'equazione di Reynolds, metodi per l'integrazione della stessa; determinazione del luogo dei carichi e dei coefficienti di rigidità e smorzamento equivalente;
- caratterizzazione della cassa e della fondazione: modelli semplificati ad 1 grado di libertà, schematizzazione ad elementi finiti, impedenze meccaniche;
- risposta del rotore allo squilibrio, velocità critiche flessionali, schema semplificato a 2 gradi di libertà, schema ad n gradi di libertà;
- equilibramento dei rotori rigidi, macchine a centro di oscillazione determinato e indeterminato, metodo dei coefficienti di influenza, metodo delle forze, metodo degli spostamenti;
- equilibramento dei rotori flessibili, metodo dei coefficienti di influenza, metodo modale, metodo ibrido;
- instabilità da film d'olio; rotori con diverse rigidità flessionali (vibrazioni 2 x giro); isteresi elastica; effetti giroscopici (cenni).

**Regolazione delle macchine:**

- analisi della stabilità dei sistemi controllati; unificazione dei formalismi nel settore del controllo e della dinamica dei sistemi meccanici; strategie di controllo utilizzate nei sistemi meccanici. Esempi.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni sono suddivise in 3 fasi distinte:

- esempi di scrittura delle equazioni di moto dei sistemi vibranti (a 1, 2, n gradi di libertà) e risoluzione formale delle stesse;
- esercitazioni numeriche, in cui l'allievo, mediante l'ausilio degli elaboratori del centro di Calcolo del Politecnico, provvede ad elaborare programmi di calcolo per la soluzione delle equazioni di moto dei sistemi vibranti;
- esercitazioni di simulazione, in cui l'allievo, mediante programmi di calcolo già predisposti, può simulare e risolvere particolari problemi (dinamica delle strutture, dinamica dei rotori, problemi di transitori etc.).

Sono previste esercitazioni pratiche sperimentali su modelli fisici in scala ridotta di strutture ed alberi rotanti.

*Testi consigliati*

Diana, Cheli: *Dinamica e Vibrazioni dei Sistemi meccanici*, UTET

Gjes: *Appunti alle lezioni di Meccanica Applicata alle Macchine*.

Bishop: *The Mechanics ofVibration*.

Krall: *Meccanica Tecnica delle Vibrazioni*.

Thomson: *Vibrazioni Meccaniche*.

Giavotto: *Strutture Aeronautiche*.

Cheli, Manenti: *Appunti di lubrificazione idrodinamica*, Spiegel

Diana, Cheli: *Introduzione alle tecniche Multi-Body*: appunti del corso

**MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA****AK0114****Prof. Giancarlo FERRARI***Programma d'esame***1. Caratteristiche dei motori a combustione interna.**

- Classificazione dei motori: relativi campi di impiego e parametri caratteristici.
- Prestazioni dei motori: curve caratteristiche di potenza, coppia e consumo.
- Accoppiamento di un motore al proprio utilizzatore.
- Rilievo sperimentale delle prestazioni: apparecchiature e normativa.

**2. Alimentazione aria nel motore a quattro tempi.**

- Processo di sostituzione della carica in un motore a quattro tempi.
- Flusso attraverso le valvole: sezione di passaggio e coefficiente di efflusso.
- Criteri per il progetto del gruppo condotto-valvole a fungo.
- Ottimizzazione del diagramma della distribuzione. Fasatura variabile.
- Influenza dell'apporto di combustibile e dei parametri motoristici sul riempimento.

**3. Alimentazione aria nel motore a due tempi.**

- Il processo di lavaggio: disposizione delle luci e coefficienti caratteristici.
- Analisi sperimentale del processo di lavaggio: prove su motori al banco e su modelli.
- Progetto dei gruppi di lavaggio e scarico: dettagli nel disegno di luci e condotti.
- Ottimizzazione delle fasature. Valvole di parzializzazione delle luci.
- Scelta del coefficiente di lavaggio e del tipo di pompa di lavaggio.

**4. Sistemi di aspirazione e scarico.**

- Funzioni svolte dai sistemi di aspirazione e scarico.
- Condizioni di moto dei fluidi: effetti dinamici, inerziali e d'onda.
- Dimensionamento della camera di espansione in due tempi per motociclo.
- Sistemi a geometria variabile con il regime del motore.
- Modelli per il calcolo del flusso in aspirazione e scarico.

**5. La sovralimentazione.**

- Scopi della sovralimentazione e classificazione dei principali sistemi.
- La turbosovralimentazione: sistemi a pressione costante e ad impulsi.
- Accoppiamento del sovralimentatore al motore; ottimizzazione delle prestazioni.
- Modelli per il calcolo del turbocompressore azionato dai gas di scarico.
- Risposta al transitorio di un motore turbosovralimentato.

**6. Combustibili per motori.**

- Esigenze dei motori a combustione interna: combustibili attualmente utilizzati.
- Calcolo dell'aria necessaria per la combustione e potere calorifico.
- Resistenza alla detonazione di una benzina: numero d'ottano.
- Accendibilità dei gasoli: numero di cetano.

**7. Alimentazione combustibile nel motore Otto.**

- Rapporto di miscela aria/combustibile richiesto dal motore a ciclo Otto.
- Carburatore elementare: dosatura fornita al variare del carico.
- Carburatore completo: circuito principale, del minimo e dispositivi supplementari.
- Scelta delle dimensioni delle principali sezioni di controllo dei flussi.
- Sistema per l'iniezione di combustibili nel motore Otto.
- Iniezione (elettronica e meccanica) a punti multipli ed a punto singolo.
- Regolazione della dosatura della miscela mediante sonda lambda.

**8. Iniezione di combustibile nel motore Diesel.**

- Esigenze del motore Diesel e funzioni svolte dall'apparato d'iniezione.
- Principali sistemi di iniezione. Gruppi a controllo elettronico.
- Caratteristiche dello spray di combustibile: polverizzazione, penetrazione e diffusione.
- Scelta dei componenti principali del gruppo d'iniezione: pompa, tubazioni ed iniettore.
- Modelli di simulazione del comportamento dei sistemi d'iniezione.

**9. Moto della carica nel cilindro.**

- Caratterizzazione delle condizioni di moto dell'aria nel cilindro.
- Scale spaziali e temporali caratteristiche dei moti turbolenti.
- Movimenti turbolenti organizzati della carica: swirl e squish.
- Evoluzione delle condizioni di moto del fluido durante il ciclo.

**10. Combustione nel motore Otto.**

- Combustione normale nel motore ad accensione comandata.
- Propagazione del fronte di fiamma e sviluppo della pressione nel cilindro.
- Calcolo della legge di rilascio del calore e della frazione di miscela bruciata.
- Combustioni anomale: preaccensione, accensione a superficie e detonazione.
- Criteri di progetto della camera di combustione.
- Modelli per la simulazione del processo di combustione nel motore Otto.

**11. Combustione nel motore Diesel.**

- Il ritardo d'accensione: correlazioni empiriche per il suo calcolo.
- Combustione del gasolio in fase premiscelata ed in fase diffusiva.
- Progetto della camera di combustione ad iniezione diretta ed a precamera.
- Calcolo del rilascio del calore e della frazione di combustibile bruciata.
- Modelli per la simulazione del processo di combustione nel motore Diesel.

**12. Formazione e controllo degli inquinanti.**

- Emissione dallo scarico di un motore Otto: incombusti, ossidi di carbonio e d'azoto.
- Controllo delle emissioni: interventi su combustibili, alimentazione e combustione.
- Abbattimento degli inquinanti mediante reattori termici e marmitte catalitiche.
- Emissione dallo scarico di un motore Diesel: controllo degli inquinanti gassosi.
- Il particolato nell'emissione del Diesel. Processo di formazione e suo controllo.
- Trappole per il filtraggio del particolato dai gas combusti.

**13. Controllo del rumore.**

- Il motore come sorgente di rumore: meccanico, di combustione e gasdinamico.
- Tipi di silenziatori e valutazione dell'attenuazione del rumore prodotta.
- Caratteristiche di abbattimento degli elementi costituenti un silenziatore.
- Criteri di progetto dei sistemi di aspirazione e scarico dei motori.
- Modelli di simulazione per il calcolo delle prestazioni dei silenziatori.

**14. Flussi di calore e sistemi di raffreddamento.**

- Bilancio energetico di un motore ed impianti di cogenerazione.
- Processo di trasmissione del calore in un motore. Calcolo del flusso termico.
- Raffreddamento a liquido: dimensionamento dell'impianto e del radiatore.
- Raffreddamento ad aria: Proporzionamento dell'alettatura e del ventilatore.
- Calcolo dei flussi di calore, delle temperature e delle sollecitazioni di origine termica.

*Libri consigliati*

G.C. Ferrari: *Motori a Combustione Interna*, Il Capitello, Torino, 1992.

J.B. Heywood: *Internal Combustion Engines Fundamentals*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1988.

N. Watson, M. S. Janota: *Turbocharging the Internal Combustion Engine*, MacMillan Publ. LTD, 1982.

R.S. Benson: *The Thermodynamics and Gas Dynamics of I.C. Engines*, Clarendon Press, Oxford, 1982.

**MOTORI PER AEROMOBILI**  
**Prof. Umberto GHEZZI****AK0014***Programma d'esame*

- **Introduzione.** Le macchine intese come sedi di trasformazione ed elaborazione dell'energia. Storia delle realizzazioni compiute. Le applicazioni dei motori in aeronautica e la spinta evolutiva determinata da questo tipo di utilizzazione, evoluzione del motore alternativo, sue interrelazioni e differenziazioni dalle motrici alternative terrestri, introduzione della turbina a gas in aeronautica, evoluzione, contrapposizione con le turbine di potenza per installazioni fisse, sue differenziazioni e soprattutto influenza delle soluzioni delle turbomacchine aeronautiche su realizzazioni terrestri.

Turbine a gas non aeronautiche di ispirazione aeronautica, prospettive della trazione terrestre, esempi applicativi, hovercrafts, costruzioni navali, generatori di gas, gruppi di condizionamento, ecc.

Propulsione mediante endoreattori.

- **Elementi di termodinamica applicata.** Trasformazioni reversibili, rendimenti delle trasformazioni. Rendimenti adiabatici politropici, coefficienti, ecc. Il lavoro delle resistenze passive e l'interpretazione dei piani t.s.

Recupero e controrecupero. Grandezze totali ed equazioni di conservazione della energia.

- **Turbine a gas e turboreattori.** Generalità sulle turbine a gas. Turbine a gas a ciclo aperto e a ciclo chiuso. Ciclo ideale semplice e ciclo reale. Interrefrigerazione ricombustione e rigenerazione nel caso ideale e nel caso reale.

- **Generalità sui turboreattori.** I componenti dei turboreattori nei piani termodinamici totali. Analisi dei cicli per accumulazione di componenti energetica ed entropica. Schemi principali di propulsori a getto.

- **Richiami di termodinamica.** Cicli termodinamici e principali tipi di macchine e di componenti. Componenti a fluido incompressibile: motori e operatori a flusso continuo e a flusso alternativo. Componenti a fluido comprimibile: motori e operatori a fluido continuo e a flusso alternativo.

- **Meccanica dei propulsori.** La spinta di un propulsore. La potenza disponibile, utile e perdita di un propulsore. Il rendimento interno propulsivo e globale di un propulsore.

- **Le prestazioni dei propulsori.** Influenza delle condizioni operative sulla spinta e sul consumo specifico dei propulsori. Influenza della quota, della velocità di volo, del numero di giri sulla spinta e sul consumo specifico dei turbopropulsori.

- **Il propulsore operativo.** Requisiti operativi del propulsore. Effetti delle caratteristiche del propulsore sulle prestazioni dell'aeromobile. Il peso specifico e le spinte specifiche di propulsione.

- **La integrazione operativa tra propulsione ed aeromobile.** Il rapporto spinta/peso di un aeromobile. L'efficienza di un aeromobile. La velocità di salita, la quota massima di tangenza e l'autonomia di un aeromobile. I tipi di installazione del propulsore sull'aeromobile. Il ciclo termodinamico ottimo del propulsore. Il rapporto di diluizione ottimo del propulsore. Il propulsore ottimo per velivoli subsonici, transonici, supersonici, in funzione delle caratteristiche del decollo, della velocità di salita, della quota massima di tangenza, della capacità di manovra, della autonomia, della sicurezza dell'aeromobile. I propulsori per veicoli a decollo raccorciato e verticale. Propulsori per elicotteri. Propulsori di derivazione aeronautica per applicazioni marine, hovercrafts e hydrofoils, per la trazione terrestre, ecc.

- **La presa d'aria.** Termodinamica e fluidodinamica delle compressioni isoentropica e per urto. Prese di aria a geometria fissa in regime subsonico e supersonico. Prese d'aria supersoniche ad urto normale, ad urto obliquo, isoentropiche. Perdite per urto. Perdite per fenomeni viscosi ed interazione; resistenza additiva della presa. Funzionamento in condizioni diverse da quelle di progetto: il problema dell'innesco. Prese dinamiche a geometria variabile e problemi di installazione.

- **Il compressore.** Il compressore assiale, misto radiale subsonico, transonico, supersonico. Lo stallone parziale, totale ed i fenomeni di "surge" nei compressori, il numero di Reynolds. Le palettature ed i dischi. Metodi di calcolo delle palettature. Stadi assiali tradizionali. Studi assiali a basso ingombro frontale, fans transonici e supersonici, accoppiamento del fan con il generatore interno. Influenza della camera di combustione sul dimensionamento degli stadi di compressione. I profili delle palette, tradizionali e non tradizionali, controllo dello strato limite e fenomeni di scia.
- **La camera di combustione ed il postcombustore.** La camera di combustione singola, cannulare, anulare, il post-combustore. Il diffusore tra il compressore e la camera di combustione. Gli iniettori e la combustione subsonica e supersonica. Metodi di accensione e di stabilizzazione della fiamma. I fenomeni di blow out ed i limiti di accensione e di limiti di accensione. L'iniezione di additivi alla combustione.
- **La turbina.** La turbina assiale, mista e radiale, subsonica, transonica e supersonica. Metodi di calcolo delle palettature. Stadi assiali tradizionali. Stadi assiali transonici e supersonici. I profili delle palette tradizionali e non tradizionali. Metodi di connessione tra le palette, di attacco delle palette ai dischi. Stadi centripeti tradizionali e non tradizionali. Vibrazione delle palette e dei dischi. Statori a calettamento variabile, raffreddamento delle palette.
- **L'ugello ed il derivatore di spinta.** L'ugello convergente divergente, a spinta, a geometria variabile ecc. Ugelli con flusso congelato e in equilibrio. Raffreddamento degli ugelli. Inversori di spinta per turbogetti semplici e per turbogetti a diluizione. Deflettori di spinta per decollo verticale o raccorciato.
- **Propulsione ipersonica.**
- **Motori alternativi per impiego aeronautico.**

*Libri consigliati*Ghezzi: *Lezioni di Motori per Aeromobili*, Ed. CLUPCarlevaro, Gamma e Morini: *Esercitazioni di Motori per Aeromobili*, Ed. CLUP

Dispense integrative su specifici argomenti.

**OPTOELETTRONICA**  
**Prof. Federico ZARAGA****AG0096***Programma d'esame*

- 1. Richiami di ottica.** Approssimazione dell'ottica geometrica. Formulazione dei fenomeni di diffrazione. Coerenza. Unità di misura fotometriche. Cenni di colorimetria.
- 2. Generatori ottici.** Sorgenti coerenti: principi di funzionamento dei laser. Caratteristiche dei tipi di laser di interesse per applicazioni nel campo dell'optoelettronica. Sorgenti incoerenti: lampade; diodi emettitori di luce (LED).
- 3. Rivelatori ottici.** Rivelatori quantici: fotoconduttivi e fotovoltaici; fotodiodi pin; fotodiodi a valanga; fotomoltiplicatori. Rivelatori termici: bolometri, rivelatori piroelettrici e termopile. Rumore nei rivelatori: principali cause di rumore. Figure di merito. Minimo segnale rivelabile.
- 4. Fibre ottiche.** Principi della propagazione di luce guidata. Proprietà ottiche delle fibre. Tipi di fibre e loro applicazione.
- 5. Sistemi di trasmissione con fibre ottiche.** Componenti attivi e passivi caratteristiche e criteri di scelta. BER. Progettazione e verifica dei sistemi di trasmissione. Principali misure richieste dai capitolati e relativa strumentazione di misura.
- 6. Elementi di ottica integrata:** guide planari; modulatori ottici; principali dispositivi integrati.

**7. Display.** Display a cristalli liquidi (LCD), al plasma, elettroluminescenti. Display a colori. CRT.

**8. Applicazioni.** Misure meccaniche ed ambientali. Applicazioni alla memorizzazione ed al trattamento di informazioni: dischi ottici (CD, magnetico ottico); bar code reader; scanner; stampanti laser..

#### *Esercitazioni*

Sono dedicate ad approfondire argomenti del programma anche con elementi di progetto per alcune applicazioni.

#### *Libri consigliati*

J. Wilson and J.F. Hawkes: *Optoelectronics, an Introduction*, Prentice-Hall, 1983.

J. Gowar: *Optical Communication Systems*, Prentice-Hall, 1984.

H. e C. Zanger: *Fiber optics*, Maxwell MacMillan Int. Ed., 1991.

#### *Modalità d'esame*

L'esame orale sarà preceduto da una prova scritta.

## **OTTICA**

**AT0010**

**Prof. Paolo LAPORTA**

#### *Programma d'esame*

#### **Elementi della Teoria Elettromagnetica.**

Equazioni di Maxwell. Condizioni al contorno. Energia e momento del campo e.m.. Onde armoniche piane. Onde armoniche sferiche. Polarizzazione. Trattazione matriciale della polarizzazione. Parametri di Stokes. Vettori di Jones. Riflessione e rifrazione di onde piane. Formule di Fresnel. Propagazione in multistrati dielettrici. Interferenza. Interferometro di Young. Interferometro di Michelson. Interferometro Fabry-Perot.

#### **Ottica Geometrica.**

Equazioni dell'iconale e del raggio. Propagazione dei raggi. Il principio di Fermat. Le leggi della riflessione e della rifrazione. Formazione delle immagini in ottica parassiale. Matrice ABCD e trattazione matriciale della propagazione dei raggi. Elementi di teoria delle aberrazioni. Aberrazioni di Seidel. Aberrazione cromatica.

#### **Ottica Diffrattiva.**

Il principio di Huygens. Formula di Fresnel-Kirchoff. Formula di Rayleigh-Sommerfeld. Diffrazione di Fresnel e Fraunhofer. Trasformata di Fourier bidimensionale ottenuta mediante lenti sottili. Formazione di immagini in luce coerente e incoerente. Funzione di trasferimento ottica (OTF e MTF). Funzione di trasferimento coerente (CTF). Potere risolutivo di un sistema di immagine. Filtraggio spaziale. Elaborazione ottica dell'informazione. Fasci gaussiani. Propagazione di fasci gaussiani e trasformazioni con matrici ABCD.

#### **Olografia.**

Registrazione e ricostruzione dell'immagine olografica. Ologramma di Gabor. Ologramma fuori asse di Leith-Upatnieks. Classificazione degli ologrammi. Tipi di ologrammi. Applicazioni dell'olografia.

#### **Ottica nella Materia.**

**A.** Propagazione in mezzi dielettrici lineari. Assorbimento e dispersione. Dielettrici anisotropi.

**B.** Ottica non lineare. Polarizzazione non lineare. Non-linearità del secondo ordine. Generazione di seconda armonica. Effetto elettroottico (Effetto Pockels). Relazioni di Manley-Rowe. Generazione

di frequenze somma. Generazione di frequenze differenza. Generazione parametrica. Non-linearità del terzo ordine. Generazione di terza armonica. Indice di rifrazione non-lineare. Effetto Raman stimolato. Effetto Brillouin stimolato.

#### **Ottica Guidata.**

Fibre ottiche. Teoria geometrica. Modi di propagazione. Fibre multimodali e monomodali. Atte-  
nuazione e dispersione nelle fibre ottiche. Proprietà dei materiali e tecnologie realizzative. Guide  
d'onda planari e microottica.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni, tenute dal docente, sono integrate nel corso.

#### *Modalità d'esame*

L'esame è orale.

#### *Libri consigliati*

R. Guenther: *Modern Optics* Wiley, 1990.

J.W. Goodman: *Introduction to Fourier Optics* - McGraw-Hill, 1968

A. Yariv: *Optical Electronics*, Holt-Saunders, 1985.

*Dispense di ottica non lineare.*

## **PIANIFICAZIONE TERRITORIALE**

**AJ0008**

**Prof.ssa Angela POLETTI**

#### *Programma d'esame*

##### **1 - Il territorio:**

- a) Definizione spaziale: parametri di definizione, sistema chiuso o aperto, grado di omogeneità.
- b) Componenti territoriali geografiche, tecnologiche, amministrative, economiche e sociologiche -  
Dimensioni massime e minime di un ambito territoriale.
- c) Il territorio urbanistico.
- d) La gestione del territorio in Italia: struttura amministrativa ed ambiti di competenze.

##### **2- 11 fenomeno insediativo ed economico-produttivo:**

- a) Contenuti di un piano. Individuazione ed utilizzo delle risorse: spazio-temporali, naturali, eco-  
nomiche, sociali, tecnologiche.
- b) Insediamenti accentrati, attività di base e produzione di servizi.
- c) Distribuzione delle attività sul territorio. Aree di influenza. Direttrici di sviluppo: schema aperto,  
continuo e flessibile.

##### **3- 11 piano:**

- a) Pianificazione urbanistica e programmazione economica.
- b) Le diverse fasi della pianificazione urbanistica e territoriale: analisi, obiettivi, piano, gestione e  
controllo.
- c) Interventi globali e di settore. Esempi di piani urbanistici programmatici ed esecutivi.
- d) I piani urbanistici ai vari livelli in Italia ed in Lombardia.

##### **4 - Pianificazione e Modellistica:**

- a) Modelli applicati all'urbanistica: grafici e matematici - interpretativi e decisionali.
- b) Teorie localizzative. Analisi costi-benefici, teoria della soglia.
- c) Elementi di teoria dei sistemi applicata all'urbanistica.

d) Gaming-simulation applicata all'urbanistica.

**5 - Pianificazione e componenti di ingegneria:**

a) Il territorio fisico-naturale: le indagini urbanistiche, la salvaguardia, il controllo e la difesa del suolo. Le componenti naturali quali variabili di pianificazione. Gli eventi naturali eccezionali: interventi urbanistici di prevenzione, pronto intervento e ricostruzione.

b) Il territorio antropico: indagini urbanistiche; l'insediamento umano nel passato ed il sistema insediativo moderno. Esempi - Gli impianti sociologici e territoriali. Gli insediamenti produttivi primari, secondari e terziari. Le componenti fondiario-catastali, edilizie, cinematiche e tecnologiche.

c) Dinamiche insediative: sviluppo e distribuzione della popolazione; fattori umani, produttivi e di movimento - Proiezioni al futuro - Gerarchie urbane ed il principio di centralità.

d) La salvaguardia urbanistica delle infrastrutture insediative ed ambientali progettate o preesistenti. Le "new-towns", schemi urbanistici di sviluppo insediativo, il sistema del verde ed i nastri di traffico.

e) Impianti speciali territoriali e loro coordinamento nell'ambito urbanistico-regionale.

**6 - Pianificazione e gestione dei territorio:**

a) Piani e programmi - azzonamento e programmi pluriennali di intervento.

b) La gestione di un piano: demanio delle aree e trasporti pubblici.

c) Strumenti di intervento.

7 - **Pianificazione e legislazione:** La legislazione urbanistica per la salvaguardia e la pianificazione del territorio.

*Esercitazioni*

Ricerca della realtà urbanistica di un dato territorio e, mediante progettazione a scala regionale e comprensoriale, applicazione di metodologie operative per la riorganizzazione. Eventuale progetto pianivolumetrico e dettaglio delle componenti urbanistiche.

*Modalità d'esame*

Per l'ammissione all'esame occorre la presentazione dell'elaborato svolto durante l'anno accademico almeno otto giorni prima dell'appello. L'esame comprende un colloquio sul programma svolto e la discussione dell'elaborato.

*Libri consigliati*

In considerazione della natura dei problemi dell'ingegneria del territorio, la bibliografia verrà fornita agli allievi durante le varie fasi di svolgimento del programma.

**PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA**

**AF0014**

**Prof. Mario DENTE**

*Programma d'esame*

**1 - Bilanci macroscopici o globali**, di quantità di moto, materia e energia.

**2 - Deduzioni delle equazioni indefinite di bilancio (di trasporto):** bilancio di quantità di moto, bilancio energetico, bilancio materiale o di massa (sistemi a uno o più componenti).

**3 - Proprietà di trasporto molecolari:** legame con i "flussi"; viscosità, conducibilità termica, diffusività molecolare. Loro dipendenza da temperatura, pressione, concentrazione. Cenni alla loro teoria cinetica. Sistemi non-Newtoniani-

**4 - Risoluzione delle equazioni fondamentali di trasporto** in alcuni casi semplici. Teoria dello stato limite applicata ai problemi di trasporto di quantità di moto, di energia e di materia. Teoria della penetrazione applicata allo stesso tipo di problemi. Analogie strutturali tra le due teorie. Analogie tra i vari fenomeni di trasporto (giustificazione fisica e matematica). Altri esempi di risoluzione dei problemi di trasporto in presenza di reazione chimica (in particolare diffusione di materia accompagnata da reazioni).

**5 - Proprietà di trasporto in regime turbolento.** Deduzione delle equazioni di trasporto turbolento di quantità di moto, energia, materia: viscosità turbolenta, conducibilità termica turbolenta, diffusività turbolenta. Cenni alle teorie e varie ipotesi sulla turbolenza; risoluzione di alcuni problemi in moto turbolento, determinazioni di profili di velocità e coefficiente di scambio termico, profili di concentrazione e coefficienti di scambio di materia.

Giustificazione teorica di alcuni legami empirici tra numeri adimensionali. Scambi simultanei di quantità di moto, energia, materia. Cenni ad alcuni problemi particolari; diffusione turbolenta con reazione chimica, fiamme e altri.

**6 - Scambio tra due fasi** (in particolare: fluido-parete): di quantità di moto, energia e materia, coefficienti di scambio e loro espressioni.

**7 - Trasmissione del calore per irraggiamento:** meccanismi di irraggiamento, assorbimento ed emissione di energia radiante, leggi di Kirchhoff, Planck, Stephan-Boltzmann, Wien, calore scambiato tra corpi neri e tra corpi grigi.

**8 - Reattori chimici.** Le equazioni fondamentali di trasporto applicate ai reattori chimici. Classificazione dei reattori chimici; criteri di scelta. Reattori discontinui, dimensionamento. Reattori continui a miscelazione, dimensionamento. Reattori continui tubolari, equazioni di progetto, dimensionamento. Condizioni di stabilità e di sensibilità parametrica dei reattori chimici. Effetti di miscelazione, influenza dei fenomeni fisici sul dimensionamento. Regime non chimico. In particolare reattori catalitici a letto fisso.

**9 - Elementi di analisi dei sistemi:** metodi di decomposizione di grandi sistemi in sottosistemi; applicazione alla risoluzione di bilanci materiali e termici per impianti chimici. Durante lo svolgimento del corso verrà continuamente messa in rilievo l'applicazione dei vari principi che si espongono alle operazioni fondamentali dell'industria chimica.

#### *Esercitazioni*

In sede di esercitazioni saranno sviluppati analiticamente e numericamente problemi che si riferiscono ai singoli argomenti del corso.

#### *Libri consigliati*

Di tutti gli argomenti trattati nel corso sono state preparate dispense a cura della CLUP.

Si consiglia la visione dei seguenti testi:

Bird, Stewart e Lightfoot: *Transport Phenomena*. Wiley 1960.

Pedrocchi e Silvestri: *Introduzione ai Fenomeni di Trasporto*, CLUP.

## **PRINCIPI DI INGEGNERIA CHIMICA II**

**Prof. Eliseo RANZI**

**AF0031**

#### *Programma d'esame*

#### **Fondamenti del Calcolo dei Reattori Chimici**

*Bilanci Macroscopici* o globali di materia, energia e quantità di moto.

*Equazioni indefinite di bilancio* di materia, energia e quantità di moto per sistemi a uno o più componenti.

*Proprietà di trasporto molecolari.* Viscosità, conducibilità termica e diffusività molecolare.

*Richiami di fluidodinamica.* Getti, scie, fiamme ed applicazioni.

*Richiami di cinetica chimica.* Individuazione dei meccanismi di reazione e stima dei parametri cinetici. Schemi cinetici complessi.

### **Reattori Chimici Ideali**

Classificazione dei reattori e modelli dei reattori ideali.

Progetto e simulazione dei reattori chimici. Criteri di scelta.

Le funzioni di distribuzione dei tempi di permanenza.

Effetti della micro e macro miscelazione.

### **Reattori Chimici di Interesse Industriale**

Reattori catalitici gas-solido. Efficienza dei catalizzatori porosi.

Reattori gas-liquido, liquido-liquido e trickle bed.

Reattori a letto fluido.

Fermentatori e reattori biochimici.

Reattori a fiamma.

Reattori di polimerizzazione.

Scambio termico per irraggiamento nei forni industriali.

**Condizioni di stabilità e sensitività parametrica. Comportamento dinamico e problemi di controllo** dei reattori chimici.

### *Esercitazioni*

Vengono illustrati alcuni esercizi per i quali è previsto lo sviluppo di programmi di calcolo da parte degli allievi.

### *Modalità d'esame*

L'esame consta in una prova orale sulla materia del corso comprensiva di una discussione sugli elaborati delle esercitazioni.

### *Libri consigliati*

M. Dente, E. Ranzi: *Principi di Ingegneria Chimica*, CLUP, 1979.

R. Reid, J. Prausnitz, T. Sherwood: *The Properties of Gases and Liquids*, McGraw Hill, New York, 1977.

J. J. Carberry: *Chemical and Catalytic Reaction Engineering*, McGraw Hill, New York, 1976.

O. Levenspiel: *Chemical Reaction Engineering*, Wiley, New York, 1972.

## **PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA**

**000891****Prof. Alessandro GANDELLI**

### *Programma d'esame*

#### **PRINCIPI DI INGEGNERIA ELETTRICA.**

**1. Generalità.** Cariche elettriche. Tensione elettrica e ddp. Corrente elettrica. Potenza. Unità di misura, volmetro e amperometro ideali.

**2. Reti elettriche.** Bipoli e doppi bipoli. Leggi di Kirchhoff. Maglie e nodi indipendenti. Teorema di Tellegen. Potenza.

**3. Reti resistive.** Bipoli resistivi, caratteristiche lineari (e non lineari). Composizioni elementari serie e parallelo. Linearità e sovrapposizione. Teoremi di Thevenin e Norton. Analisi matriciale di rete: analisi ai nodi, agli anelli.

**4. Campi.** Campo di conduzione, resistività. Proprietà dei materiali conduttori. Campo dielettrico, costante dielettrica. Proprietà dei materiali isolanti. Campo magnetico, permeabilità. Materiali ferromagnetici. Flusso concatenato, legge dell'induzione. Circuiti accoppiati, coefficiente di auto e di mutua induzione. Energia e azioni meccaniche del campo dielettrico e magnetico.

**5. Reti in regime transitorio.** Transitori RC ed RL del primo ordine. Transitori del secondo ordine.

**6. Reti in regime sinusoidale.** Sinusoidi, valori efficaci, fasori. Bipoli fondamentali in regime sinusoidale. Impedenze, ammettenze. Potenze in regime sinusoidale, istantanea, attiva, reattiva, apparente. Teoremi fondamentali e analisi di rete con i fasori. Teoremi di Boucherot. Strumenti di misura in c.a.. Trasformatore ideale. Mutuo induttore, circuito equivalente.

**7. Sistemi trifase.** Sistemi di tensioni e di correnti. Generatori e carichi a stella e a triangolo. Potenza trifase. Analisi dei sistemi simmetrici equilibrati.

**8. Nozioni di macchine e di impianti elettrici.** Costituzione generale delle reti per la trasmissione e distribuzione della potenza elettrica. Cadute di tensione, sovraccarichi, corti circuiti. Sicurezza negli impianti elettrici. Trasformatore, circuito equivalente, trasformatori trifase, dati di targa. Motore asincrono e sincrono, principi di funzionamento, circuiti equivalenti, caratteristiche esterne, dati di targa, regolazione. Motore in corrente continua, principio di funzionamento, caratteristiche esterne, dati di targa, regolazione.

**9. Componenti.** Dispositivi a stato solido. Diodi. Transistori. Amplificatori operazionali. Caratteristiche esterne. Circuiti equivalenti.

**10. Diodi.** Impiego dei diodi nei circuiti di conversione ca-cc. Convertitori monofase a semionda, a ponte. Convertitori trifase.

**11. Transistori.** Impiego come interruttore elettronico. Circuiti di conversione cc-cc. Circuiti di conversione cc-ca. Cenni agli azionamenti elettrici e relativo controllo. Impiego del transistor come amplificatore.

**12. Teoria delle reti lineari.** Generatori indipendenti e comandati. Ordine di una rete lineare. Variabili di stato. Sistemi in forma normale. Regime periodico non sinusoidale. Analisi di Fourier. Risposta in frequenza.

**13. Amplificatori operazionali.** Circuiti analogici fondamentali: amplificatore, sommatore, integratore, derivatore, invertitore.

**14. Filtri.** Filtri passivi, Cenni all'impiego dell'amplificatore operazionale nella realizzazione di filtri.

**15. Circuiti logici.** Le porte logiche fondamentali: NOT, AND, OR, XOR. Le memorie elementari: Flip-Flop. Reti logiche. Circuiti cablati. Circuiti programmati.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta e una prova orale da sostenere nel medesimo appello, e da verifiche parziali durante il corso.

#### *Libri consigliati*

E. Carminati: *Elettrotecnica Circuitale: Modelli, Componenti, Dispositivi*, Esculapio.

I. Vistoli, A. Di Gerlando: *Appunti di elettrotecnica*, CUSL.

E. Gatti, P.F. Manfredi, A. Rimini: *Elementi di teoria delle reti lineari*, Ambrosiana.

A. P. Morando, A. Gandelli: *Esercizi di Elettrotecnica*, Esculapio.

M. Crivellini, G. Dacquino: *Elettrotecnica. Esercizi*, CLUP.

**PROCESSI BIOLOGICI INDUSTRIALI**  
**Prof.ssa Maria Carmela GALLAZZI MALCOVATI****AF0110***Programma d'esame***Fondamenti e Principi.**

- Nozioni di base sulla chimica delle molecole implicate nei processi biologici, sulla struttura delle cellule e sulle caratteristiche di cellule e microorganismi.
- Cinetica e utilizzazione del substrato, formazione dei prodotti e produzione di biomassa nelle culture cellulari.
- Tecniche di fermentazione: batch, fed-batch e continua.
- Fenomeni di trasporto e bioreattori.
- Sterilizzazione dell'aria e dei terreni di cultura.
- Strumentazione e controllo.
- Processi di separazione.

**Processi.**

- Alcuni esempi di catalisi enzimatica (HFCS, aspartame, separazione di enantiomeri).
- Etanolo.
- Birra
- Antibiotici.
- Acidi organici e amminoacidi.
- Proteine.
- Enzimi.
- Qualche esempio di applicazione industriale di microorganismi geneticamente ingegnerizzati.
- Qualche esempio di processi con cellule animali (anticorpi monoclonali, ormoni, vaccini).

**PROCESSI DI PRODUZIONE ROBOTIZZATI**  
**Prof. Francesco JOVANE****AR0128***Programma d'esame*

**Generalità sui processi produttivi.** Produzione discreta e di processo. Produzione a commessa e a magazzino. Flussi di materiale e di informazioni all'interno di un impianto di produzione. Cenni sui processi di produzione meccanica.

**Robotizzazione dei processi produttivi.** Generalità sui robot: configurazioni dei tipi più diffusi, attuatori finali, sensori, visione, sistemi di controllo, programmazione ad apprendimento ed off-line, simulazione. Applicazioni dei robot in compiti di manipolazione per fonderia, presse e macchine utensili. Applicazioni dei robot in saldatura. Applicazioni dei robot in ispezione. Applicazioni dei robot in verniciatura e finitura. Applicazioni dei robot in assemblaggio.

**Assemblaggio automatico.** Tecnologia dell'assemblaggio: classificazione delle operazioni. Cicli di montaggio manuale: valutazione dei tempi operativi. Automazione del montaggio. Sistemi ad automazione rigida. Linee ed isole di montaggio. Integrazione di stazioni di lavoro manuali in un sistema automatico dedicato. Sistemi ad automazione flessibile: celle e linee robotizzate. Design for Assembly. Pianificazione automatica delle operazioni manuali o automatiche di montaggio (CAAP). Impiego di sistemi CAD/CAM per la programmazione dei robot di assemblaggio.

**Progettazione di un processo di produzione robotizzato.** Valutazione economica e giustificazione: studio delle alternative ed analisi dei costi. Pianificazione del progetto: selezione delle alter-

native ed ingegnerizzazione. Affidabilità, manutenzione, sicurezza. Gestione di un sistema flessibile di assemblaggio.

#### *Esercitazioni*

Dimostrazioni di programmazione e simulazione di un impianto robotizzato.

Progettazione di un sistema di assemblaggio automatico:

- definizione del prodotto (design for assembly);
- definizione del processo (ciclo di montaggio automatico);
- definizione del sistema (dimensionamento dell'impianto).

Utilizzo di sistemi CAD/CAM.

#### *Testi consigliati*

- S.Y. Nof: *Handbook of industrial robotics*, John Wiley and sons
- G. Boothroyd, C. Poli, L.E. Murch: *Automatic assembly*, Marcel Dekker
- F.N. Nagy, A. Siegler: *Engineering foundation of robotics*, Prentice Hall
- K.S. Fu, R.C. Gonzales, C.S.G. Lee: *Robotica*, McGraw Hill Italia
- W.M. Chow: *Assembly line design*, Marcel Dekker

## **PROCESSI ELETTROCHIMICI**

**AE0014**

**Prof. Bruno MAZZA**

#### *Programma d'esame*

1. Richiami di teoria dei processi elettrochimici: aspetti stechiometrici, effetti termodinamici, cinetica, elettrocatalisi, passivazione, processi d'elettrodo in regime di diffusione.
2. Configurazione del campo elettrico nei sistemi elettrochimici, distribuzione della corrente, metodi di calcolo numerico.
3. Aspetti tecnici dei processi elettrochimici industriali: consumo energetico, bilancio termico, costi, tariffazione dell'energia elettrica, ottimizzazione economica.
4. Impianti elettrochimici: cella e parti costitutive (elettrodi, conduttori elettrolitici, separatori, membrane a scambio ionico, celle SPE), circuito di elettrolisi, impianto di conversione dell'energia.
5. Reattoristica elettrochimica: elettrodi tridimensionali (porosi, particolati a letto fisso e a letto fluido, flessibili), modelli teorici di funzionamento, applicazioni.
6. Esempi di processi e produzioni elettrochimiche consolidate della grande industria inorganica e metallurgica: cloro-soda, idrogeno, alluminio, zinco, rame, piombo. Dei singoli processi (trattati in forma monografica) vengono giustificate in modo critico le scelte operative sulla base di criteri termodinamici, cinetici, fisico-tecnici, impiantistici, economici, ambientali e di sicurezza. Vengono inoltre prospettati i più recenti sviluppi e analizzate le eventuali alternative con particolare riferimento al problema del risparmio energetico.
7. Nuove applicazioni elettrochimiche: elettrosintesi organiche, depurazione di effluenti industriali, taglio e lavorazione di pezzi metallici (electrochemical machining), elettrodeposizione di pitture e vernici.
8. Processi di corrosione, protezione elettrica, processi galvanotecnici.
9. Generatori elettrochimici di lavoro elettrico: pile, pile a combustibile, accumulatori (in particolare: industria degli accumulatori al piombo, nuovi prodotti e tecnologie, recupero elettrolitico del

piombo da accumulatori esausti), prospettive di sviluppo di generatori elettrochimici per veicoli elettrici.

10. Metodi elettrochimici di utilizzazione dell'energia solare: celle fotoelettrochimiche.

#### *Esercitazioni*

Calcoli di bilanci materiali ed energetici di processi elettrochimici industriali.

#### *Libri consigliati*

P. Gallone: *Trattato di Ingegneria Elettrochimica*. Ed. Tamburini, Milano 1973.

F. Coeuret, A. Storck: *Elements de Genie Electrochimique*. Lavoisier Tee et Doc, Paris 1984.

E. Heitz, G. Kreysa: *Principles of Electrochemical Engineering*. VCH, Weinheim 1986.

D. Pletcher: *Industrial Electrochemistry*. Chapman and Hall, London 1990.

G. Prentice: *Electrochemical Engineering Principles*. Prentice Hall, Englewood Cliffs 1991.

J.S. Newman: *Electrochemical Systems*. Prentice Hall, Englewood Cliffs 1991.

Per l'eventuale approfondimento di alcuni argomenti saranno consigliati a lezione testi o riviste specializzate disponibili presso la biblioteca del Dipartimento.

## **PROGETTAZIONE ASSISTITA DI STRUTTURE MECCANICHE**

**AR0113**

**Prof. Gianfranco PETRONE**

#### *Programma d'esame*

#### **Sistemi informatici e processo di progettazione**

Processo di progettazione: obiettivi, individuazione e definizione delle specifiche, pianificazione delle attività, individuazione delle risorse, il feedback, l'apprendimento.

L'inserimento del computer nelle fasi del processo di progettazione. Le librerie dei programmi, i data base, le interfacce.

#### **Cenni di computer graphics**

#### **Metodi di calcolo numerici.**

##### Il metodo degli elementi finiti (MEF).

Formulazione del metodo attraverso il PLV. La modellazione della funzione incognita. Matrici per l'elemento e per la struttura assemblata. Funzioni di forma lineari e quadratiche. Elementi piani nelle tensioni e nelle deformazioni; elementi per lo studio di problemi assialsimmetrici; elementi solidi; elementi bar e beam per lo studio delle strutture a telaio; elementi per lo studio delle strutture a lastra ed a guscio. Elementi per la meccanica della frattura.

Il MEF nei problemi di dinamica strutturale: tecniche di soluzione.

Formulazione del MEF per lo studio dell'instabilità elastica delle travi e dei pannelli, per lo studio dei problemi di grandi deformazioni e per problemi di elastoplasticità.

Scelta dell'elemento finito e modellazione della geometria; schematizzazione dei vincoli e dei carichi.

Integrazione del MEF con il modello solido Cad. Cenni sugli algoritmi di discretizzazione automatica in 2D. Lettura ed interpretazione dei risultati.

Struttura dei codici di calcolo e criteri di scelta.

##### Il metodo degli elementi di contorno (BEM).

Formulazione del metodo. La soluzione fondamentale. Il teorema di Betti. Applicazione del BEM ai problemi di elastostatica bidimensionale.

**Metodi di ottimizzazione**

Ottimizzazione della geometria in funzione delle condizioni di rigidità statica e dinamica.

Metodi numerici di ricerca di punti estremanti liberi e vincolati

Criteri per la definizione della funzione obiettivo.

Criteri per la definizione delle funzioni di vincolo.

*Esercitazioni*

Il corso sarà integrato da esercitazioni di tipo applicativo facendo uso degli strumenti di Ateneo, per consentire agli allievi l'acquisizione degli strumenti di tipo conoscitivo ed operativo per l'uso dei programmi di modellazione e calcolo strutturale, di tipo commerciale, oggi presenti. Si studieranno uno o più problemi di progettazione, scelti sulla base delle indicazioni fornite dal docente. Lo svolgimento documentato di tali temi potrà costituire parziale elemento di valutazione della preparazione dell'allievo. In funzione del numero di allievi che parteciperanno alle esercitazioni, è probabile una suddivisione in due squadre che lavoreranno in pomeriggi diversi. Si ritiene il corso adatto allo sviluppo e presentazione di testi e/o progetti di laurea.

*Libri consigliati*

J. Encarnação, E.G. Schlechtendahl: *Computer Aided Design*. Hoepli

J.J. Shah, Martti Mäntylä: *Parametric and Feature-Based Cad/Cam*. John Wiley and Sons.

S. Sirtori: *Il metodo degli elementi finiti nell'analisi delle tensioni*. Spiegel

R.D. Cook, D. S. Malkus, M. E. Plesha: *Concepts and applications of finite element analysis*. John Wiley and Sons.

N. Ottosen, H. Petersson: *Introduction to the Finite Element Method*. Prentice Hall

F. Cesari: *Introduzione al metodo degli elementi finiti*, Pitagora Editrice Bologna.

F. Cesari: *Metodi di calcolo nella dinamica delle strutture*, Pitagora Editrice Bologna.

**PROGETTAZIONE DI APPARECCHIATURE DELL'INDUSTRIA CHIMICA AF0102****Prof. Gianfranco GUERRERI***Programma d'esame***Generalità. Richiami.**

Codici per il progetto dei recipienti in pressione: ANCC, ASME, DIN, British Standard, ecc.

Procedure di calcolo per tenere conto della spinta del vento, delle vibrazioni e delle scosse telluriche sulle apparecchiature.

Calcolo e dimensionamento degli ancoraggi (fondazioni, ecc.)

Progetto dei tubi caldi e stima delle spinte e dei momenti sulle macchine e sui recipienti.

Preparazione degli schemi P & I.

Perdite di carico e sistemi di pompaggio e compressione per fluidi monofasici e bifasici.

Scelta dei materiali e sovrametalli di corrosione.

Analisi economica di un impianto chimico.

**Esempi di progettazione di impianti petroliferi.**

Distillazione primaria del petrolio greggio - preflash, Topping, Vacuum, Treno di scambio termico, Transfer line, Forno.

Reformig Catalitico.

Cracking Catalitico - FCC.

Desolforazione catalitica su letto "trickle".

**Esempi di progettazione di impianti petrolchimici.**

Steam Reforming primario e secondario.

Shift conversion CO-CO<sub>2</sub>.

Assorbimento CO<sub>2</sub>.

Metanazione.

Sintesi Ammoniaca.

Alcole etilico da biomasse con la distillazione azeotropica e con la membrana.

Paradistillazione e Distillazione centrifugata.

Polimerizzazione dello stirene.

Glicole etilenico.

Idrogenazione di olio di semi di cotone.

**Esempi di progettazione di impianti alimentari.**

Operazioni preliminari.

Operazioni di trasformazione.

Operazioni sussidiarie.

Progetto di un pastorizzatore per sostanze viscoso e per liquidi.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sulla materia del corso comprensiva di una discussione sugli esempi numerici presentati.

*Libri consigliati*

H. F. Rase: *Chemical Reactor Design for Process Plants*, John Wiley & Sons, New York, 1977.

R.E. Treybal: *Mass-Transfer Operations*, McGraw-Hill, New York, 1980.

M. Karel, O.R. Fennema, D.B. Lund: *Physical Principles of Food Preservation*, Marcel Dekker Inc., New York, 1975.

G. Guerrieri: *Impianti petroliferi*, CLUP, 1980.

G. Natta, I. Pasquon: *Principi della Chimica Industriale*, Voi. I, 1985.

I. Pasquon, G. Guerrieri: *Principi della Chimica Industriale*, Voi. Iii, 1985.

M.H. Jaward, J.R. Farr: *Structural Analysis and Design of Process Equipment*, John Wiley & Sons, New York, 1989.

Il materiale di studio essenziale per il corso è suggerito durante le lezioni.

**PROGETTAZIONE DI STRUTTURE AEROSPAZIALI****AL0109****Prof. GianLuca GHIRINGHELLI***Programma d'esame***Introduzione al calcolo strutturale automatizzato.**

Modelli concentrati o discreti - Modelli continui e metodi esatti - Approssimazione di modelli continui - Metodi approssimati - Discretizzazione e calcolo matriciale - Introduzione agli elementi finiti.

**Analisi matriciale delle strutture.**

Calcolo matriciale strutturale - Sviluppo della procedura di calcolo - Assemblaggio - Imposizione dei vincoli esterni - Soluzione del sistema algebrico.

**Elementi finiti con approccio agli spostamenti - Analisi statica lineare.**

Formulazioni variazionali - Formulazione non variazionali - Sviluppo di elementi - Schemi di interpolazione - Formulazione isoparametrica - Caratteristiche e condizioni di convergenza della so-

luzione - Elementi finiti di piastra - Carichi equivalenti - Pretensione e predeformazione - Carichi termici.

**Problemi assialsimmetrici.**

Formulazione - Sviluppo degli elementi - Modellazione dei carichi.

**Tecniche di utilizzo e modellazione.**

Criteri di discretizzazione e modellazione - Simmetrie/Antisimmetrie - Simmetrie cicliche - Analisi di dettaglio - Sottostrutture - Tecniche di individuazione degli errori - Modellazione automatica - Elaborazione dei risultati - Verifiche strutturali - Criteri di infittimento.

**Dinamica.**

Formulazione delle matrici di massa e di smorzamento - Problemi di risposta - Metodo diretto e modale - Metodi di integrazione - Analisi modale - Tecniche di calcolo di auto valori per problemi di grandi dimensioni - Tecniche di condensazione.

**Applicazioni strutturali avanzate.**

Cenni di calcolo statico nonlineare - Cenni di dinamica non lineare - Sviluppo semianalitico del modello di trave - Formulazione materiali piezoelettrici - Problematiche di ottimizzazione.

**Elementi di geometria vettoriale e grafica interattiva.**

Descrizione numerica d'entità geometriche - Rappresentazione di corpi - Curve, superfici e volumi parametrici - Proiezioni.

*Esercitazioni*

Nelle esercitazioni gli allievi potranno sviluppare programmi applicativi, relativi agli argomenti trattati durante le lezioni, e verificarli sulle attrezzature del Politecnico. Verranno inoltre effettuati calcoli su modelli ad elementi finiti appositamente realizzati.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale comprendente la discussione di un programma di calcolo svolto dall'allievo e relativo ad un argomento trattato durante il corso.

*Libri consigliati*

R.D. Cook: *Concepts and applications of finiti element analysis*, John Wiley

O.C. Zienkiewicz: *The finiti element method*, McGraw Hill

K. Bathe, L. Wilson: *Numerical methods in finite element analysis*, Prentice Hall

K. Bathe: *Finite elementprocedures in engineering*, Prentice Hall

J.L. Meek: *Computer Methods in structural analysis*, E & FN Spon

T. Huges: *The finite element methods*, Prentice Hall

F. Cesari: *Il metodo degli elementi finiti nei problemi termostrutturali*, Pitagora Editrice.

Autori vari: *ADINA: A finite element program for Automatic Dynamic Incremental Non-linear Analysis*, ADINA Eng.

Autori vari: *MSC/NASTRAN: Theoretical manual*, MSC

C.T.F. Ross: *Finite Element methods in engineering Science*, Ellis Horwood

E. Hinton, *Finite elementprogramming*, Academic Press

B. Iron, S. Ahmad: *Techinques of finite elements*, J. Wiley & Sons

H.G. Schaeffer: *MSC/NASTRAN Primer*, Schaeffer Analysis Ine.

Foley Van Dan: *Interactive computer graphics*, Addison Wesley.

**PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE DI SISTEMI MECCANICI**  
**Prof. Silvio MATTEAZZI****000852***Programma d'esame*

**1. Il problema generale dei trasporti interni.** Le diverse classi di apparecchi di sollevamento e trasporto: a moto continuo e discontinuo. Modo di operare dei diversi apparecchi a ciclo continuo e discontinuo. Classificazione degli apparecchi di sollevamento secondo UNI ISO 4306

**2. Generalità sulle normative.** Classificazione degli apparecchi e dei meccanismi. Forze da considerare nel calcolo. Carichi regolari: forze dovute ai movimenti verticali; forze dovute ai movimenti orizzontali. Carichi occasionali: carichi del vento in servizio; carichi dovuti allo sbiecamen- te. Carichi eccezionali: carichi dovuti al vento massimo fuori servizio; carichi di prova; carichi do- vuti ad urti contro respingenti od ostacoli fissi; carichi provocati da interruzioni di energia o guasti improvvisi; forze dovute agli effetti climatici. Combinazione dei carichi. Verifica degli elementi secondo il metodo delle tensioni ammissibili o degli stati limite. Stabilità al ribaltamento.

**3. Gli elementi degli argani.** Organi di presa. Ganci. Benne: normali, a grande apertura, e mono- funi. Elettromagneti. Organi flessibili: differenti tipi di catene e di funi. Dimensionamento e verifi- ca delle funi. Paranchi: rendimento delle carrucole, taglie. Collegamenti delle funi. Tamburi: ca- ratteristiche costruttive, dimensionamento, trasmissione del moto al tamburo. Riduttori. Tipi e ca- ratteristiche costruttive. Criteri di dimensionamento. Riduttori speciali: riduttori epicicloidali; ri- duttori a vite senza fine e ruota elicoidale. Freni. Tipi di freno (a ceppi, a cono, a disco, a nastro). Dimensionamento meccanico. Verifica termica. Sistemi di apertura del freno: lavoro di apertura, aprifreno elettromagnetici, aprifreno elettroidraulici, aprifreno elettromeccanici. Freni speciali. Giunti ed innesti.

**4.1 motori e le apparecchiature di comando.** Motori asincroni trifase, in corto circuito ed a roto- re avvolto. Utilizzazione dei motori asincroni: problemi di avviamento e frenatura nei casi di solle- vamento di carichi e di movimenti orizzontali. Motori in corrente continua con eccitazione in serie e indipendente: regolazione. Scelta del motore elettrico: calcolo del rapporto di intermittenza, del numero di manovre orarie e della potenza nominale. Apparecchiature elettriche di comando.

**5.1 meccanismi di traslazione.** Ruote: distribuzione del carico, tipi costruttivi, dimensionamento, resistenza al moto. Organi di trasmissione del moto. Rotaie: vari tipi, dimensionamento, sistemi di ancoraggio. Dispositivi anticollisione: sistemi impiegati, tipi di respingenti, dimensionamento dei respingenti. Dispositivi di ancoraggio.

**6. Trasmissioni oleodinamiche.** Generalità. Pompe ed attuatori idraulici. Componenti idrostatici: valvole (regolatrici di portata, direzionali, regolatrici di potenza, proporzionali, servovalvole); ac- cumulatori. Esempi di applicazione delle trasmissioni idrauliche nelle macchine operatrici.

**7. Strutture portanti.** Generalità e norme. Calcolo delle azioni interne: identificazione dei cicli di sollecitazione. Dimensionamento e verifica degli elementi. Verifica in rapporto al limite di fatica ed alla stabilità (cenni). Collegamenti: chiodature, bullonature, saldature. Attuale orientamento del- le strutture portanti negli apparecchi di sollevamento.

**8. Carriponte.** Differenti tipi di carriponte. Ponte: caratteristiche costruttive e dimensionamento. Carrello. Meccanismi di scorrimento. Comando centrale. Comandi separati. Fenomeni connessi al movimento di scorrimento. Interazione fra i vincoli esterni, i meccanismi di scorrimento e le strut- ture del ponte. Conseguenze di eventuali errori di costruzione. Coppia raddrizzante massima eser- citata daU'attrito fra ruota e rotaia.

**9. Gru girevoli.** Rotazione della parte girevole. Gru a piattaforma. Gru a colonna ed a cuscinetto. Variazione dello sbraccio. Traiettoria del carico. Gru a braccio fisso e carrello mobile. Gru a brac- cio sollevabile. Gru a braccio e braccetto. Gru particolari. Gru mobili. Contrappesatura dei pesi pro-

pri. Meccanismi di rotazione. Meccanismi di variazione dello sbraccio. Sistemi di manovra dello sbraccio.

### *Esercitazioni*

Solo agli allievi che svolgeranno il lavoro di laurea nell'ambito del corso verrà assegnato il progetto di una macchina completa che sarà svolto preferibilmente da più allievi. Ciascun allievo seguirà, oltre allo sviluppo d'assieme del progetto, una sua parte o problema particolare, in modo da riprodurre, in forma ovviamente ridotta, il processo esecutivo di un progetto quale si ha normalmente nell'ambito di un ufficio progetti.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una valutazione dell'attività svolta nello studio del progetto e in una prova orale sugli argomenti del corso.

Per gli allievi che non svolgeranno la tesi od il progetto ci sarà la sola prova orale.

### *Libri consigliati*

S. Matteazzi: *Apparecchi di sollevamento e trasporto - il calcolo dei meccanismi*,; ed. CUSL

Zignoli: *Trasporti meccanici*, ed. Hoepli.

H. Ernst: *Les appareils de levage*, ed. Gauthier-Villars.

H.H. Broughton: *Electric Cranes*, ed. E. e F.N. Spoon, London.

## PROGETTAZIONE EDILE ASSISTITA

AJ0103

Prof. Alfredo M. RONCHI

### *Programma d'esame*

1) Introduzione alla progettazione edile assistita, cenni storici, concetti base degli elaboratori, architettura del software: software di base, software applicativo. Descrizione microsistema, cenni su alcuni dei sistemi operativi più diffusi nel settore edile, procedure operative di base.

Principali componenti hardware e software utilizzati nelle soluzioni dedicate all'edilizia.

2) Cenni sulle possibili interfacce uomo/macchina, ambienti operativi. Le interfacce grafiche, GUI, CUA, SAA e gli ambienti Windows.

3) Cenni sulle principali tecniche di archiviazione e reperimento dei dati alfanumerici e grafici, progettazione e realizzazione di archivi tecnici.

4) Panoramica delle applicazioni grafiche dedicate alla progettazione edile assistita, dal tecnigrafo elettronico alla modellazione solida ed alla grafica interattiva. Grafica "raster" e vettoriale. Cenni sui principali algoritmi e metodi di elaborazione grafica, esempio di funzionamento di un sistema grafico. Problematiche ed aspetti specifici dei sistemi grafici dedicati al mondo delle costruzioni, differenti approcci al disegno ed alla modellazione.

Approfondimento delle conoscenze sulle tecniche di modellazione di manufatti edili, ombreggiatura e resa realistica dei medesimi. Alcune procedure dedicate alla animazione di modelli architettonici con particolare riferimento alla creazione di "cammini prospettici" e montaggio di ambienti reali in filmati di sintesi. Realtà Virtuale evoluzione, immersività, periferiche intrusive, applicazioni al settore edile, sistemi di sviluppo. Integrazione della RV nei differenti settori applicativi edili. Cenni sulle principali tecniche di restituzione delle elaborazioni grafiche sopra menzionate, produzione di tavole cartacee, prestazioni dinamiche, "video tapes".

- 5) Problematiche relative all'informatizzazione di una struttura operativa edile, dallo studio professionale all'impresa di costruzioni. Cenni sulle reti locali e l'uso di reti territoriali o internazionali. Principali sistemi di comunicazione e gestione dell'informazione, "workflow", il luogo di lavoro virtuale, il lavoro distribuito a distanza (WWW, Email, Ftp, Internet, Intranet). Considerazioni sulla produttività generale dei sistemi di elaborazione dedicati all'edilizia ed architettura.
- 6) Procedure software dedicate alla compilazione e gestione di analisi prezzi, computi metrici, estimativi e contabilità lavori, relazioni con sistemi grafici e modelli tridimensionali. Procedure "ponte" tra le applicazioni dedicate al disegno ed alla modellazione e le procedure di progetto o verifica dei principali sottosistemi edili. Creazione di sistemi grafici dedicati a soluzioni "verticali".  
Principali applicazioni d'automazione d'ufficio in campo edile. Metodi di programmazione dei lavori ed applicazioni dedicate. Gestione informatizzata delle commesse edili, contabilità lavori.
- 7) Cenni sui principali strumenti di controllo dei parametri ambientali, procedure ed algoritmi di calcolo.
- 8) Tecniche di simulazione ed ottimizzazione applicate al processo produttivo edilizio.
- 9) Applicazioni ipertestuali e ipermediali per l'edilizia, cenni storici, potenzialità e stato dell'arte, ambienti di sviluppo più diffusi, esempi applicativi nel settore tecnico. ,,
- 10) Applicazione delle tecniche dell'intelligenza artificiale ed expert systems nel settore (cenni).
- 11) Requisiti edili ed impiantistici necessari per l'installazione di apparecchiature di elaborazione automatica dati.

#### *Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni dedicate all'approfondimento ed all'ampliamento degli argomenti trattati durante il corso. Dopo aver fornito le principali indicazioni pratiche riguardanti l'uso di alcune procedure software dedicate al settore edile sono previste esercitazioni pratiche su Personal Computer.

Le precedenze d'esame sono affisse all'Albo della Presidenza della Facoltà. Il rispetto delle precedenze d'esame costituisce condizione vincolante per la regolarità dell'esame: il mancato rispetto delle precedenze comporta automaticamente l'annullamento dell'esame.

#### *Modalità d'esame*

L'esame prevede la presentazione di una serie di elaborati svolti durante il corso dell'anno, un elaborato d'esame ed una prova orale. Prima di presentarsi alla prova orale il candidato dovrà presentare e discutere con il docente il progetto elaborato.

#### *Libri consigliati*

Nel corso delle lezioni sarà fornita la bibliografia specifica per ogni tema trattato.

#### *Note*

Ulteriori informazioni relative al corso di Progettazione Edile Assistita sono disponibili all'indirizzo URL = <http://131.175.64.54> oppure collegandosi al Web di Dipartimento attraverso il SIWA

## **PROGETTAZIONE MECCANICA FUNZIONALE**

**BN0006**

**Prof. Guido RUGGIERI**

### *Programma d'esame*

#### **1) La progettazione funzionale.**

- 1.1 Gli stadi della progettazione meccanica.
- 1.2 La progettazione funzionale.
- 1.3 La progettazione del movimento.
- 1.4 Caratteristiche fondamentali delle movimentazioni "interamente meccaniche".
- 1.5 L'impiego dell'elaboratore elettronico nella progettazione funzionale dei meccanismi.

#### **2) Meccanismi per macchine automatiche.**

- 2.1 Classificazione dei vari tipi di movimento richiesti nelle macchine. Problemi dinamici nella trasformazione del moto uniforme in altri tipi di movimento.
- 2.2 Sintesi di meccanismi per moto continuo alternativo.
- 2.3 Sintesi di meccanismi per moto continuo unidirezionale.
- 2.4 Sintesi di meccanismi per moto intermittente alternativo.
- 2.5 Sintesi di meccanismi per moto intermittente unidirezionale.
- 2.6 Meccanismi per moti a passo di pellegrino (cenni).

#### **3) Procedimenti per l'analisi automatica dei meccanismi.**

- 3.1 Richiamo sull'impiego dei numeri complessi e dei metodi matriciali in cinematica.
- 3.2 Elementi di cinematica analitica e relativi metodi numerici.
- 3.3 Codici di calcolo per la progettazione assistita dei meccanismi.
- 3.4 Unità periferiche per la progettazione assistita dei meccanismi.

#### **4) Ingranaggi.**

- 4.1 Caratteristiche funzionali degli ingranaggi.
- 4.2 Correzioni speciali degli ingranaggi.

#### **5) Meccanismi a più gradi di libertà.**

- 5.1 Caratteristiche cinematiche e dinamiche dei meccanismi a più gradi di libertà.
- 5.2 Composizione e scomposizione di movimenti.
- 5.3 Rotismi epicicloidali e loro principali applicazioni (riduttori, cambi, sommatore, differenziali).
- 5.4 Trasmissione meccanica del moto fra assi mobili.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono prevalentemente nell'impostazione di codici di calcolo automatico per l'analisi e la sintesi dei meccanismi.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale, con eventuale discussione degli elaborati svolti durante le esercitazioni.

### *Libri consigliati*

P.L. Magnani, G. Ruggieri: *Meccanismi per macchine automatiche*, UTET, 1986.

Durante il corso verranno date altre indicazioni bibliografiche.

**PROGETTO DI ELICOTTERI**  
**Prof. Massimiliano LANZ**

AL0110

*Programma d'esame*

- 1. Introduzione.** Cenni storici. Classificazione degli aeromobili a decollo verticale. Morfologia dell'elicottero. Rotori articolati, hingeless e bearingless. Sistema di controllo.
- 2. Aerodinamica del rotore.** Rotore in flusso assiale: momentum theory. Velocità e potenza indotta. Regimi di funzionamento: normale, vortice ad anello, freno, autorotazione. Teoria dell'elemento di pala in volo assiale. Potenza indotta in presenza di distribuzione non uniforme della velocità e perdite di estremità. Indice di merito. Ottimizzazione del rotore a punto fisso. Effetto suolo. Resistenza verticale. Sistemi di riferimento: non flappeggio, non variazione passo, mozzo. Forze generate dalle pale in volo avanzato. Determinazione dei coefficienti aerodinamici: effetti dovuti al flusso ra-diale, instazionarietà, stallo dinamico, comprimibilità.
- 3. Dinamica della pala rigida.** Equazione di flappeggio in assenza di forze aerodinamiche. Contributo delle forze aerodinamiche all'equazione di flappeggio. Numero di Lock. Volo avanzato: metodo di Floquet. Accoppiamento flappeggio-passo. Equazioni di moto attorno alla cerniera di ritardo e alla cerniera di passo. Stabilità flappeggio-passo: divergenza e flutter. Stabilità flappeggio-ritardo. Risonanza a terra e in volo. Coordinate multipala.
- 4. Prestazioni.** Equilibrio dell'elicottero in volo avanzato rettilineo uniforme, potenze necessarie. Metodo delle forze e delle potenze. Autorotazione. Diagramma quota-velocità.
- 5. Stabilità e controllo.** Equazioni linearizzate del moto. Sistemi di riferimento. Perturbazioni di velocità, incidenza e velocità di beccheggio. Stabilità longitudinale a comandi bloccati. Calcolo delle derivate di stabilità. Stabilità longitudinale a punto fisso. Stabilizzazione automatica. Effetto della posizione del baricentro sulla stabilità. Requisiti su potenza, sensitività di controllo e smorzamento.
- 6. Vibrazioni.** Sensibilità dell'organismo umano alle vibrazioni. Trasmissione di forze e momenti attraverso il mozzo. Metodi passivi e attivi per la riduzione delle vibrazioni.
- 7. Pala deformabile.** Equazioni di equilibrio di una trave rotante. Metodi numerici per il calcolo delle frequenze e dei modi propri. Variazione delle frequenze proprie in funzione della velocità di rotazione.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale.

*Libri consigliati*

- W. Johnson: *Helicopter Theory*, Princeton University press.  
 A.R.S. Bramwell: *Helicopter Dynamics*, Edward Arnold, London.  
 J. Seddon: *Basic Helicopter Aerodynamics*, BSP Professional Books.  
 R.L. Bielawa: *Rotary Wing Structural Dynamics and Aeroelasticity*, AIAA Education Series.

**PROGETTO DI STRUTTURE**  
**Prof. Antonio MIGLIACCI**

AN0110

*Programma d'esame*

- 1. Aspetti probabilistici nella misura della sicurezza.** - Il problema fondamentale della misura: metodo dei valori estremi, dei funzionali estremi, ed esatto. Espressioni della probabilità di rovina.

Metodo semi-probabilistico agli stati limite. Resistenze ed azioni caratteristiche. Resistenze di progetto, legami azioni-sollecitazioni, valori dei coefficienti parziali di sicurezza e gradualità di applicazione, formule di combinazione. Metodi di livello 2 e 3.

**2. Stato limite ultimo per (N,M).** - Ipotesi fondamentali. Campi di rottura, rapporti geometrici e meccanici d'armatura, considerazioni sulla duttilità. Flessione semplice retta. Flessione composta retta. Tracciamento per punti del dominio resistente di progetto. Flessione composta deviata.

**3. Stato limite ultimo per (V).** - Comportamento di travi al taglio. Metodo del traliccio di Mòrsch modificato. Meccanismi resistenti al taglio. Calcolo allo stato ultimo: travi senza armatura trasversale, travi con armatura trasversale (taglio-compressione, taglio-trazione). Regola della traslazione. Effetto arco, effetto inclinazione correnti. Interazione flessione-taglio: diagrammi  $M_u$ ,  $V_u$  in funzione di  $M/Va$ ; domini resistenti (M,V).

**4. Stato limite ultimo per (T).** - Comportamento di travi a torsione. Teoria elastica e plastica; teoria della flessione obliqua. Interazione della torsione con le altre componenti di sollecitazione. Metodo del traliccio. Metodo della trave cava equivalente (stato ultimo di torsione-compressione, torsione-trazione). Torsione non uniforme.

**5. Stati limite di fessurazione.** - Misura della durabilità. Stati limite di fessurazione: decompressione (D), prima fessurazione ( $C_r$ ), apertura controllata (W). Valori ammissibili ( $W_r$ ) e valori di calcolo ( $W_s$ ), valore centrale ( $W_{sm}$ ) e trattile superiore ( $W_{sk}$ ). Calcolo di  $W_{sm}$  nei diversi casi di fessurazione. Disposizioni costruttive.

**6. Stato limite di deformazione.** - Valori ammissibili ( $v_r$ ) e valori di calcolo ( $v_s$ ). Misura della deformabilità. Diagrammi momenti-curvatura e momenti-rotazione. Calcolo del valore centrale  $v_{sm}$ . Effetti del taglio; deformazioni per torsione. Effetti della viscosità. Disposizioni costruttive.

**7. Deformazioni lente (viscosità e ritiro).** - Comportamento viscoso del calcestruzzo (teoria dell'invecchiamento, teoria ereditaria, proposte pratiche di calcolo). Primo e secondo principio della viscosità lineare. Riacquisto del regime principale. Strutture non omogenee. Effetti del ritiro, interazione con la viscosità.

**8. Stato limite ultimo di instabilità.** - Diagrammi momenti-curvatura e momenti-rotazione in presenza di N. Effetti del secondo ordine. Metodo generale. Metodi particolari ( $P^{\wedge}$ ); colonna modello; metodo dell'equilibrio. Effetti della viscosità.

**9. Misura dello stato ultimo di struttura.** - Cenni al problema generale. Metodo delle deformazioni impresse e del sentiero di compatibilità. Metodo pseudo-elastico, controllo della duttilità. Campo di validità.

**10. Disposizioni costruttive.** - Principi generali. Accoppiamento barre d'armatura-calcestruzzo. Distanziamenti, ancoraggi, unioni, piegature, uncini, ecc. Il problema delle spinte a vuoto. Reti d'armatura.

Principi particolari per elementi snelli e per elementi tozzi. Le soles di fondazione, i plinti e le piattabande su pali. Le travi parete e le mensole tozze; selle Gerber. Disposizioni standard. Rinforzi e riparazioni.

**11. Stati limite per il precompresso.** - Considerazioni generali. Misura degli stati ultimi (N,M) e (V), in esercizio e nelle fasi di fabbricazione. Effetti di viscosità e ritiro, rilassamento delle armature. Disposizioni costruttive ed esecutive.

**12. Strutture di fondazione.** - Scelta e progetto delle strutture di fondazione. Fondazioni dirette: a plinto, a trave, a graticcio e a piastra; strutture particolari (a cavalletto e a telaio, intercapedini, fosse-luce). Particolari di fondazione per le strutture metalliche, per le strutture scale-ascensori, per le piattabande su pali, travi di collegamento, etc. Plinti in alloggiamenti.

**13. Strutture in c.a.** - Strutture di edifici civili (solai travi, pilastri; strutture scale-ascensori). Strutture particolari di edifici civili (strutture di arretrato; travi alte, controventi). Travi continue; telai; archi e volte; travature. Getti, disarmi, controlli e collaudi.

**14. Strutture particolari in c.a.** - Strutture per contenitori (muri paraterra; serbatoi e sili). Strutture per ciminiere. Voltine scatolari ed elementi a sezione aperta di piccolo spessore. Strutture particolari di edifici industriali (strutture per vie di corsa gru, di tamponamento e di pavimento).

**15. Strutture in c.a.p.** - Scelta e progetto della precompressione. Solai e travi, travi continue, telai, travature. Voltine scatolari ed elementi a sezione aperta di piccolo spessore.

#### *Esercitazioni*

Durante le ore di esercitazione:

gli allievi che svolgono il tema di laurea nell'ambito del corso di Progetti di Strutture devono redigere il progetto delle strutture deH'edificio prescelto, sotto la guida del docente del corso; i restanti allievi è bene svolgano alcuni elaborati su un tema di ampiezza limitata, preferibilmente attinente al progetto di laurea svolto nell'ambito di un altro corso.

#### *Modalità d'esame*

Per l'ammissione alla prova di esame, gli allievi devono avere completato gli elaborati assegnati durante le esercitazioni.

L'esame consiste nella discussione di tali elaborati e neH'interrogazione su argomenti teorici riguardanti problemi strutturali trattati durante le lezioni.

#### *Libri consigliati*

Migliacci A., Mola F.: *Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.* (Parte prima), Masson Italia Editori, Milano, 1978.

Atti del Corso di Aggiornamento su *Progetto delle strutture in cemento armato con il metodo agli stati limite* (a cura di A. Migliacci e F. Mola), Ed. CLUP, Milano, 1983.

Migliacci A., Mola F.: *Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.* (Parte seconda), Masson Italia Editori, Milano, 1985.

Durante il corso verranno date altre indicazioni bibliografiche.

## **PROGETTO GENERALE DI VELIVOLI** **Prof. Sergio RICCI**

**AL0111**

#### *Programma d'esame*

- 1) Richiami sulle forze e sui momenti aerodinamici agenti su un corpo.
- 2) Profili alari.
- 3) L'ala finita in campo subsonico.
- 4) L'ala in campo transonico e supersonico.
- 5) Gli ipersostentatori.
- 6) Caratteristiche aerodinamiche dei diversi elementi costituenti il velivolo.
- 7) Polare reale. Polare parabolica. Polare relativa.
- 8) Il velivolo come utilizzatore dei propulsori aeronautici. Trazione. Potenza utile. Potenza perduta. Rendimento propulsivo.
- 9) L'elica.

- 10) Meccanica del volo nel caso di traiettorie e forze giacenti nel piano verticale.
- 11) Meccanica del volo nel caso di traiettoria curvilinea.
- 12) Autonomia oraria e chilometrica del velivolo.
- 13) Tempo e spazio di decollo su ostacolo. Spazio di accelerazione e arresto. Decollo critico. Spazio di atterraggio su ostacolo.
- 14) Centraggio e stabilità statica longitudinale a comandi bloccati ed a comandi liberi. Stabilità di manovra.
- 15) Stabilità statica direzionale a comandi bloccati. Controllabilità direzionale. Stabilità statica direzionale a comandi liberi.
- 16) Stabilità laterale. Effetto diedro. Gli alettoni.
- 17) Fenomeni di autorotazione e di vite.
- 18) Sistemi di riferimento.
- 19) Equazioni generali di moto del velivolo.
- 20) Equazioni semplificate di moto del velivolo.
- 21) Stabilità dinamica. Oscillazioni fugoide e di breve periodo.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nell'apprendimento di tecniche per il calcolo dell'aerodinamica di base di un velivolo e delle sue prestazioni fondamentali, nonché per la valutazione della stabilità.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta e in una prova orale. Prima dell'esame lo studente deve fare approvare una relazione contenente un progetto concettuale di velivolo, su specifiche assegnate in precedenza dal docente.

#### *Libri consigliati*

E' innanzi tutto estremamente opportuna una media conoscenza della lingua inglese, utilizzata dalla maggior parte della letteratura aeronautica. Tra i molti testi consigliabili, in alcuni casi su particolari argomenti, si segnalano:

in italiano:

A. Lausetti-F. Filippi: *Elementi di meccanica del volo* - Levrotto e Bella - Torino

R. Picardi: *Aeronautica generale - Dispense*, CLUP, Milano

J. Roskam: *Progetto di velivoli*, Voi. I e II, CLUP - Milano

in inglese:

I. Abbot-A. von Doenhoff: *Theory fo Wing Sections* - Dover - New York

L.J. Clancy: *Aerodynamics* - Pitman - London;

D. Dommasch-S. Sherby-T. Connolly: *Airplane Aerodynamics* - Pitman.

J. Roskam: *Airplane Aerodynamics and Performance*, Raskam, Kansas

J. Roskam: *Airplena Design*, Part. Ili, Raskam Kansas

E. Treembek: *Synthesis ofSubsonic Airplane*, Nijhoff Delft.

**PROTEZIONE E SICUREZZA NEGLI IMPIANTI NUCLEARI (1/2 annualità, 2) AV0120**  
**Prof. Sergio TERRANI***Programma d'esame*

- 1. Problemi di radioprotezione connessi con l'impiego su larga scala della radiazione.** Problemi di radioprotezione negli impianti nucleari. Problemi ecologici connessi con gli impianti nucleari. Grandezze ed unità in uso nella radioprotezione. Modalità di irraggiamento dell'individuo. Attuali principi della R.P. e loro possibili sviluppi. Le raccomandazioni n. 26 e n. 60 del ICRP e loro conseguenze sulla normativa nucleare.
- 2. Richiami di dosimetria.** Dosimetria ionometrica. Dosimetria a stato solido. Monitori personali e monitori d'area: loro caratteristiche e limiti. Misure di contaminazione ambientale e personale. Metodi particolari di dosimetria per condizioni eccezionali.
- 3. Problemi di protezione nell'esercizio degli impianti nucleari.** R.P. operativa. Ciclo del rifiuto radioattivo per solidi, liquidi ed aeriformi.
- 4. La sicurezza nucleare.** Criteri di base per stabilire il rischio connesso con un impianto nucleare. Il reattore nucleare: metodi di valutazione del rischio. Approccio probabilistico e approccio legato agli incidenti base di progetto. I siti nucleari, le salvaguardie nucleari, la protezione fisica degli impianti nucleari, i piani di emergenza nucleare.

*Esercitazioni*

Esercitazioni pratiche. Decontaminazione di superfici. Progetto di massima di un deposito a secco di combustibile nucleare bruciato. Ritrovamento di sorgenti occulte.

*Libri consigliati*

- C. Poivani: *Elementi di radioprotezione*, Enea, 1087.  
J.C. Collins: *Radioactive Wastes, their Treatment and Disposal*, E.I.F.N. Span Ltd, London 1960.  
H. Cember: *Introduction to Health physics*, Pergamon Press, London 1987.  
Lewis: *Nuclear power reactor safety*, John Wiley e Sons, 1977.

**PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO**  
**Prof. Armando BRATH****AI0010***Programma d'esame*

- 1. Stima della sollecitazione di progetto di opere idrauliche.**  
**Stima della portata al colmo di progetto.** Metodologie di analisi di frequenza delle piene. Tecniche di analisi regionale.  
**Stima dei volumi e degli idrogrammi di piena.** Analisi di frequenza dei volumi di piena. Determinazione dell'idrogramma di progetto a partire dall'analisi delle precipitazioni.
- 2. Idrologia delle piene fluviali.**  
**Propagazione delle piene.** Equazioni generali del moto vario delle correnti a superficie libera. Modelli semplificati. Metodi numerici di soluzione. Cenni sui modelli bidimensionali per l'analisi dei fenomeni di allagamento. Onde di piena artificiali a valle di opere di ritenuta.  
**Trasporto dei corsi d'acqua.** Fenomeni di instabilità del fondo. Forme di fondo. Trasporto di fondo e trasporto di sospensione: formule per la previsione e metodi di misura.  
**Morfologia degli alvei alluvionali.** Teoria dell'equilibrio limite. Teoria del regime. Instabilità dell'asse rettilineo dell'alveo. Formazione dei meandri.

### 3. Controllo delle piene fluviali.

**Misure di tipo strutturale.** Sistemazione dei versanti e delle aste montane. Opere di correzione del profilo del corso d'acqua: briglie ordinarie e selettive. Opere longitudinali. Interventi intesi a modificare la scala di deflusso della sezione. Serbatoi di laminazione e casse di espansione. Diver-sivi e scolmatori.

**Misure di tipo non-strutturale.** Preannuncio delle piene. Caratteristiche dei sistemi di monitoraggio e preannuncio. Modelli matematici per la previsione in tempo reale. Piani operativi di protezione civile. Mappatura delle aree esondabili ad assegnato livello di rischio. Copertura assicurativa del rischio.

**4. Impatto delle opere idrauliche sul regime fluviale.** Effetti delle sistemazioni dei versanti e delle aste montane sui tronchi vallivi. Effetti indotti dalla presenza di opere idrauliche di controllo delle piene sulle aree a monte ed a valle della zona protetta. Effetti sui profili di pelo libero in moto permanente. Effetti indotti durante i fenomeni di piena.

**5. Rischio ed affidabilità nella progettazione idraulica.** Analisi di incertezza di variabili idrologiche. Fattori di incertezza intrinseca ed estrinseca. Analisi approssimata del primo ordine. Stima del rischio di fallanza e dell'affidabilità di opere idrauliche.

**6. Analisi delle magre dei corsi d'acqua.** Caratteristiche dei fenomeni di magra. Analisi di frequenza delle magre. Modelli stocastici dei deflussi di magra. Previsione delle caratteristiche delle magre attraverso metodi indiretti.

#### *Libri di testo*

Materiale didattico fornito dal docente

U. Maione, *Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese.

A. Paoletti, *Lezioni di Idraulica Fluviale*, Dip. I.I.A.R., Politecnico di Milano.

#### *Libri di consultazione*

A.H. Ang, W.H. Tang, *Probability concepts in Engineering Planning and Design*, J. Wiley, New York.

G. Benini, *Sistemazioni idraulico forestali*, UTET.

H. Chang, *Fluvial Processes in River Engineering*, J. Wiley, New York.

P.H. Jansen, L. van Benegom, J. van den Berg, M. de Vries, A. Zanen, *Principles of River Engineering*, Pitman, London.

L.B. Leopold, M.G. Wolman, J.P. Miller, *Fluvial Processes in Geomorphology*, Freeman, San Francisco.

U. Maione, A. Brath (a cura di), *Moderni criteri per la sistemazione degli alvei fluviali*, BIOS.

## QUALITÀ' NELLA PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE DELLE MACCHINE 000875

**Prof. Attilio COSTA**

#### *Programma d'esame*

### 1) Tecnologia della lavorazione dei metalli per asportazione di truciolo.

Moti utensile-pezzo nelle m.u. Materiali e geometria dell'utensile monotagliante. Formazione e svolgimento del truciolo. Usura dell'utensile. Forze di taglio. Fluidi di taglio. Parametri di lavoro. Relazioni per la durata, le forze, la potenza e la produttività. Qualità dei risultati: finitura, accuratezza (di forma, posizione, dimensioni, integrità superficiale). Criteri economici di sub-ottimizzazione della singola lavorazione. Cenni alla tecnologia delle lavorazioni con utensili pluritaglienti (fresatura).

**2) Le macchine utensili dal punto di vista della qualità dei risultati.**

Organi principali, dispositivi complementari, attrezzi di presa e bloccaggio pezzi e utensili. Soluzioni costruttive, funzionalità e modalità operative e loro conseguenze sulla qualità dei risultati generati. Difetti macchina ed errori pezzo. Requisiti di accettazione e prescrizioni di collaudo. Dispositivi di controllo e misura a bordo macchina. Macchine a controllo numerico. Apparecchi e macchine di misura pezzi e di presetting utensili.

**3) Studi di fabbricazione e cicli di lavorazione in vista della qualità del prodotto.**

Scelta del grezzo, del processo tecnologico, delle macchine; dei dispositivi complementari; scelta dei piazzamenti, delle attrezzature, delle modalità di bloccaggio; elaborazione del ciclo di lavorazione (sequenza dettagliata di operazioni aggregate in fasi, sottofasi e altri raggruppamenti); scelta delle lavorazioni degli utensili e dei metodi e parametri di lavoro; determinazioni dei tempi, delle forze, della potenza, della durata utensili, della produttività, dei costi; revisione della qualità dei risultati; pianificazione dei controlli e collaudi.

**4) Metodi di pianificazione e organizzazione delle fabbricazioni.**

Classificazione morfo-tecnologica dei pezzi meccanici. Codice Opitz e cenni ad altri codici e procedure di classificazione assistite. Statistiche dei pezzi prodotti in alcuni settori industriali.

Tipizzazione dei cicli di lavorazione e in particolare di elementi di forma semplici. Pianificazione dei processi assistita da calcolatore (CAPP), approcci generativo e variante.

Sistemi intelligenti per la pianificazione e il controllo delle fabbricazioni.

Lavorazione per famiglie (Group Technology), unità cellulari di produzione e linee operative flessibili.

**5) La qualità nella fabbricazione meccanica.**

La qualità del prodotto e del servizio come risultato della qualità globale del sistema e dei metodi di produzione: concetti, termini, parametri, metodologie.

- **Ingegneria della qualità** - qualità intrinseca prodotta nei vari stadi del processo: ideazione, progettazione, pianificazione, produzione, messa in servizio, manutenzione, assistenza.
- **Garanzia della qualità** - conduzione a gestione della produzione, qualificazione e certificazione della fornitura.
- **Controllo della qualità** - in accettazione, produzione, collaudo, su materiali, funzionalità dei mezzi, prestazioni di prodotti.
- **Mantenimento della qualità** - affidabilità, durabilità, disponibilità, manutenibilità, fidatezza.

*Esercitazioni*

Parallelamente alle lezioni, l'insegnamento prevede una serie di esercitazioni che richiedono una diretta attività degli allievi (se necessario divisi in gruppi), e riguardano i seguenti punti:

- 1) prove di lavorazione in officina;
- 2) elaborazione di studi di fabbricazione e cicli di lavorazione;
- 3) studio di casi industriali.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale, che comprenderà anzitutto la discussione di un esempio di studio di fabbricazione (presentato dal candidato o scelto tra quelli elaborati nelle esercitazioni) e quindi l'accertamento della padronanza dei concetti e metodi generali.

*Libri consigliati*

Appunti alle Lezioni sono disponibili presso la Biblioteca studenti del Dipartimento di Meccanica; a loro complemento si raccomanda:

*Norme UNI 3963/1 e 2* sugli errori geometrici delle superfici, in particolare sulla rugosità.

*Norme UNI 7226/1, 2, 3, 4* sugli errori e le tolleranze di forma e posizione.

*Norma UNI 4725* sulla determinazione della tolleranza naturale

*Norma UNI 5954* sulla tolleranza naturale di lavorazione delle macchine utensili.

*Norme UNI 8475/1 e 2* sulla terminologia e le caratteristiche degli utensili da taglio

*Norma UNI 3685* sulle prova di durata degli utensili da taglio

*Norme UNI 8000 e 9910* sulla terminologia e i concetti dell'affidabilità.

*Norma UNI ISO 8402* sulla terminologia della qualità.

*Norme UNI EN 29000, 29001, 29002, 29003, 29004* sulla garanzia della qualità.

*Norme UNI 4723 e 4842* (compresi allegati) sul controllo di qualità.

G. Spur, T. Stoeferle: *Enciclopedia delle lavorazioni meccaniche*, Voi. 3 e 4 *Asportazione del Truciolo*. Tecniche Nuove 1980.

S.M.E.: *Tool and Manufacturing Engineers Handbook*, 4a ediz., Voi. 1°, McGraw-Hill 1983.

Si consiglia inoltre di consultare, in relazione alle varie parti del programma dell'insegnamento:

G.F. Micheletti: *Tecnologia meccanica*, Voi. I, *Il taglio dei metalli*. 2a ediz., UTET 1977.

R. Weill: *Techniques d'usinage*, Dunod 1971.

M.C. Shaw: *Metal cutting principles*, Clarendon Press, Oxford 1984.

W. Koenig: *Fertigungsverfahren*, Voi. 1 e 2, VDI-Verlag 1981 e 1980.

D. H. Bruins, H.J. Draeger: *Utensili e macchine utensili ad asportazione di truciolo*, Voi. 1, *Utensili*. Tecniche Nuove 1981.

G.F. Micheletti: *Tecnologia meccanica*, Voi. II, *Le macchine utensili*. 2a ediz., UTET 1979.

M. Weck: *Handbook of Machine Tools*, Voi. IV, Wiley 1984.

G. W. Vickers, L.H. Lu, R.G. Hotter: *Numerically Controlled Machine Tools*, Ellis-Horwood 1990.

R. Shah: *Lavorazioni a C.N.*, Tecniche Nuove 1981.

R. S. Pressman, J.E. Williams: *Numerical Control and Computer Aided Manufacturing*, Wiley 1977.

A. Andrisano, W. Grilli: *Esercitazioni di macchine utensili*, Pitagora, Bologna 1981.

C. Chang, M. Melkanoff: *NC Machine programming and software design*, Prentice 1989.

M. Sava, J. Pusztai: *Computer Numerical Control programming*, Prentice 1990.

I. Faux, M. Pratt: *Computational geometry for design and manufacturing*, Wiley 1979.

H. Opitz: *A classification System to describe workpieces*, Pergamon-Press 1970.

S. P. Mitrofanow: *La lavorazione a gruppi*, F. Angeli 1964.

C.C. Gallagher, W.A. Knight: *Group Technology*, Butterworths 1973.

E. A. Am: *Group Technology*, Springer-Verlag 1975.

A. Kusiak: *Intelligent manufacturing System*, Prentice 1990.

T. C. Chang: *Expert Process Planning for manufacturing*, Addison Wesley 1990.

J. V. Jones: *Engineering Design, Reliability, Maintainability and Testability*, TBA Books, 1990.

H.P. Block, F.K. Geitner, *An introduction to machinery reliability*, Van Nostrand-Reinhold 1990

S. Ghersini: *Qualità e affidabilità nella pratica industriale*, Tecniche Nuove 1988.

G. Griffith: *Quality Technician's Handbook*, Wiley 1986.

J. Jouran, F. Gryna: *Quality planning and analysis*, 2a ediz., McGraw 1980.

J. Jouran, F. Gryna: *Quality control Handbook* [Section 9], 4a ediz., McGraw 1988.

J. Evans, W. Linsay: *The management and control of Quality*, West Pubi. 1989.

J.R. Ross: *Taguchi techniques for quality engineering*, McGraw 1988.

D.M. Grove, T.P. Davis: *Engineering Quality and Experimental Design*, Longman 1992.

T.B. Barker: *Quality by Experimental Design*, Dekker 1994.

**RADIOATTIVITA' (1/2 annualità)**  
**Prof.ssa Alessandra CESANA**

**A VOI 16**

*Programma d'esame*

La struttura del nucleo; Raggio-Carica-Massa ed energia di legame-Formula semiempirica delle masse-Momenti nucleari.

Forze nucleari: Deutone-Scattering nucleone-nucleone.

Modelli nucleari: Gas di Fermi-Modello a shell.

Processi nucleari: Decadimento radioattivo-Decadimento  $0, b$  -Diseccitazione elettromagnetica-Reazioni nucleari - Fissione-Fusione.

*Esercitazioni*

Il corso prevede esercitazioni numeriche in aula ed esercitazioni pratiche da svolgersi presso i Laboratori del CESNEF.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

*Libri consigliati*

1) K.S. Krane: *Introductory Nuclear Physics*, J. Wiley & Sons Inc., 1987.

2) W.N. Cottingham & D.A. Greenwood: *An introduction to Nuclear Physics*, Cambridge University Press, 1986.

**RADIOATTIVITÀ' I (1/2 annualità)**  
**Prof. Pier Francesco BORTIGNON**

**000848**

*Programma d'esame*

1. Richiami di ottica ondulatoria (interferenza, diffrazione) e di relatività speciale.

2. Inadeguatezza della fisica classica e alcuni esperimenti critici. Dualità onda-particella, le relazioni di de Broglie.

3. Le relazioni di indeterminazione di Heisenberg. Un esperimento che le illustra. Applicazioni qualitative. Concetto di vita media di uno stato.

4. L'equazione di Schroedinger, interpretazione della funzione d'onda, buche, gradini e barriere di potenziale, il fenomeno del tunneling. L'oscillatore armonico unidimensionale.

5. Il momento angolare. La parità.

6. Stati stazionari di una particella in un potenziale centrale. Moto del centro di massa e moto relativo per un sistema di due particelle. L'atomo di idrogeno.

7. Lo spin, particelle identiche e le statistiche quantistiche.

8. Probabilità di decadimento di uno stato.

9. Applicazioni particolari alla Fisica Nucleare.

*Esercitazioni:*

Il Corso prevede esercitazioni numeriche in aula e la riproduzione di esperimenti.

Modalità d'esame:

L'esame consiste in una prova orale.

*Libri consigliati:*

M.Alonso e E.J.Finn: *Fisica, Corso per l'Università*, Masson, 1996, Voi. II.

R.P.Feynman, R.B.Leighton, M.Sands: *The Feynman Lectures on Physics*, Addison-Wesley, 1965, Voi. III.

L.I.Schiff: *Quantum Mechanics*, McGraw-Hill, 1968.

**RADIOCHIMICA****000881****Prof. Ennio LAZZARINI***Programma d'esame*

1. Richiami sulla struttura elettronica dell'atomo. Il nucleo atomico. Sua costituzione, dimensione, energia di legame, sistematica dei nuclidi naturali. Cenni sulla natura delle forze nucleari e sui modelli nucleari. Nuclei stabili ed instabili, legge dei decadimenti radioattivi, sua natura statistica. I tipi di decadimento radioattivo; *alpha*, *beta* (*beta*<sup>-</sup>, *beta*<sup>+</sup>, per cattura), emissione protonica, neutronica, decadimento per fissione spontanea. Stati nucleari eccitati e loro decadimento (emissione gamma e conversione interna). Cenni sulle correlazioni angolari dei gamma in cascata ed alle loro applicazioni in campo chimico.
2. Interazione di particelle e di radiazione con la materia. I rivelatori di particelle e di radiazione (camera di ionizzazione, contatori proporzionali e di Geiger-Muller, i rivelatori a scintillazione ed a semiconduttore; cenni sulla rivelazione con emulsione fotografica; gli spettrometri magnetici). Rivelatori per neutroni.
3. Reazioni nucleari. Leggi cinetiche sulla formazione di un nuclide attraverso reazione nucleare. Valore Q ed energia di soglia delle reazioni nucleari. Sezioni di urto totali e parziali. Le reazioni nucleari implicanti la formazione di un nucleo composto, le reazioni nucleari di spallazione. I diversi tipi di reazioni nucleari con particolare riguardo per la reazione di cattura neutronica e di fissione. Fissione indotta da neutroni, modelli della fissione, energia di fissione, prodotti di fissione, neutroni prodotti nella fissione, catena di reazioni di fissione. Cenni al reattore nucleare ed al suo bilancio neutronico al fine di chiarire gli aspetti ingegneristici chimici del problema. Cenni ai diversi tipi di reattore nucleare.
4. La fissione dal punto di vista chimico, composizione dei prodotti di fissione e loro decadimento. La chimica dei lantanidi e degli attinidi. Operazioni chimiche in campi di radiazione ad alta intensità. Metodi chimici usati per la rigenerazione dei combustibili nucleari irraggiati (coprecipitazione, resine a scambio ionico, estrazioni con solvente), loro uso nei processi di rigenerazione acquosi. Cenni ai processi di rigenerazione non acquosi. I metodi chimici usati per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi, possibili usi pratici dei prodotti di fissione.
5. Produzione dei radionuclidi di più largo uso. La tecnica dei traccianti isotopici radioattivi. Critica del metodo, effetti isotopici. Uso dei traccianti isotopici nella chimica analitica, nello studio dei meccanismi di reazione; processi di autodiffusione, reazioni di scambio isotopico. L'analisi per radioattivazione. La Chimica degli atomi "caldi".
6. Chimica delle radiazioni. Sorgenti di radiazioni. Dosimetria. Effetti prodotti dalle radiazioni nei solidi e nelle soluzioni.
7. Cenni sugli aspetti radiochimici delle reazioni di fusione.

*Nota per gli allievi nucleari*

Il programma di esame per gli allievi nucleari è limitato essenzialmente ai punti 4, 5, 6 e 7, in quanto gli argomenti compresi nei punti precedenti sono svolti in altri corsi per essi obbligatori. Il programma di esame per gli allievi nucleari comprende però alcuni argomenti di chimica inorganica e di tecniche strumentali chimiche propedeutici per le esercitazioni pratiche di laboratorio svolte nel Corso di radiochimica. Questi argomenti sono illustrati per essi sempre in sede di dette esercitazioni pratiche.

*Esercitazioni*

Si svolgeranno circa 12 esercitazioni in giorni e con orari di volta in volta concordati con gli studenti.

*Libri consigliati*

Gli allievi possono usare per la preparazione dell'esame o dispense reperibili presso l'Istituto di Ingegneria Nucleare, integrate da manoscritti forniti dal docente, oppure i due seguenti testi in lingua inglese.

G. Friedlander, J. Kennedy, J. Miller: *Nuclear Chemistry and Radiochemistry*. Wiley, London (1981).  
M. Benedict, T.H. Pigford, H. Levi: *Nuclear Chemical Engineering*, MacGraw, New York (1981).

**RADIOPROTEZIONE FISICA****000849****Prof.ssa Anna L. FANTOLA LAZZARINI***Programma d'esame*

Instabilità dei nuclei e natura casuale dei decadimenti radioattivi. Distribuzione di Poisson e conseguenti applicazioni pratiche.

Interazione di particelle cariche e neutre e di radiazione elettromagnetica con la materia.

Strumenti di misura di particelle e radiazioni di diversi tipi:

Rivelatori a gas. Camere a ionizzazione, contatore proporzionale e contatore di Geiger-Mueller.

Rivelatori a scintillazione. Scintillatori organici e inorganici, solidi e liquidi. Tubi fotomoltiplicatori. Analizzatori di impulsi monocanale e multicanale.

Rivelatori a semiconduttore. Rivelatori a barriera superficiale, a compensazione di litio, a germanio iperpuro.

Altri tipi di rivelatori.

Sorgenti di neutroni. Rivelatori per neutroni. Contatori al B-10 e all'He-3, camere a fissione. Rivelatori di neutroni veloci.

Tecnica dell'attivazione.

Generatori di raggi X. Caratteristiche dei fasci. Parametri elettrici e filtri.

Radionuclidi come sorgenti di radiazione elettromagnetica.

Schermature per particelle e radiazione elettromagnetica.

Dosimetria: unità di misura. Dosimetri fotografici e a termoluminescenza. Dosimetri chimici solidi e in soluzione.

Taratura di dosimetri.

Elementi di radioprotezione. La sorveglianza fisica: criteri di controllo dell'ambiente di lavoro e delle persone esposte. Principi di sorveglianza della radioattività ambientale: criteri per l'immissione di rifiuti radioattivi nell'ambiente.

Aspetti operativi della radioprotezione nelle applicazioni industriali e nella ricerca scientifica.

Applicazioni delle radiazioni nucleari nella ricerca, nell'industria e in medicina: analisi per radioattivazione e per fluorescenza, sterilizzazione di strumenti, conservazione di derrate alimentari, tomografia per emissione di positroni, etc.

### *Esercitazioni*

Del corso fanno parte numerose sedute di laboratorio esemplificative degli argomenti trattati.

### *Libri consigliati*

G.F. Knoll: *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, New York, 1989.

G. Gilmore, J. Hemingway: *Practical gamma-ray Spectrometry*, John Wiley & Sons, New York, 1995.

M. Pelliccioni: *Fondamenti fisici di radioprotezione*, Pitagora, Bologna, 1989.

A.L. Fantola, E. Lazzarini: *Dispense delle Lezioni ed Esercitazioni del Corso di tecniche radioisotopiche*, 1994.

## **RETI DI TELECOMUNICAZIONI I**

**AG0229****Prof. Maurizio DECINA, Achille PATTAVINA**

### *Programma d'esame*

#### **1. Introduzione.**

Elementi costitutivi delle reti per telecomunicazioni: architetture e protocolli. Commutazione di circuito e di pacchetto. Reti telefoniche. Reti di calcolatori: locali e geografiche. Reti integrate ISDN. Reti per la diffusione della televisione. Rete Internet.

#### **2. Multiplazione di segnali numerici.**

Codifica dei segnali: voce, musica, immagini fisse ed in movimento. Multiplazione numerica a divisione di tempo. Multiplazione statistica di pacchetti.

#### **3. Elementi di teoria delle code e del traffico.**

Caratterizzazione di un sistema a coda. Processi di ingresso e di servizio. Perdita e ritardo nei sistemi a coda. Code con ingresso e servizio a distribuzione esponenziale. Modelli di collegamenti a commutazione di circuito e di pacchetto.

#### **4. Reti a commutazione di circuito.**

Architettura delle reti telefoniche: indirizzamento ed instradamento. Traffico telefonico. Prestazioni di reti telefoniche: congestione dei fasci di circuiti. Struttura degli autocommutatori e allocazione delle funzioni. Reti di connessione a divisione di spazio e di tempo. Congestione interna e instradamento. Reti numeriche ISDN e B-ISDN (ATM).

#### **5. Reti a commutazione di pacchetto.**

Architettura delle reti di calcolatori: reti locali e geografiche. Reti locali: sistemi a bus e ad anello, tecniche di polling. Reti metropolitane e geografiche a pacchetto. Rete Internet.

#### **6. Protocolli di comunicazione.**

Architettura a strati. Modello di riferimento OSI. Protocolli di trasporto e protocolli di applicazione. Protocolli di trasporto X.25. e Frame Relay. Internet: protocolli di trasporto: IP, TCP/UDP e PPP; protocolli di applicazione: FTP, SMTP e WWW.

#### **7. Segnalazione e gestione delle reti.**

Segnalazione associata e su canale comune. Reti di segnalazione: Protocollo SS No 7. Segnalazione di accesso ISDN. Cenni su architetture e protocolli per la gestione delle reti di comunicazioni (TMN e SNMP).

**8. Sistemi radiomobile.**

Sistemi radio per reti telefoniche mobili: l'approccio cellulare. Architetture e protocolli di trasporto delle reti GSM e DECT.

*Modalità d'esame*

Prova scritta e orale.

*Libri consigliati*

M. Dècina: *Appunti dalle lezioni*

M. Dècina, A. Roveri: *Code e Traffico nelle Reti di Comunicazione*, La Goliardica Editrice, 1978

M. Dècina, A. Roveri: *Introduzione alle Reti Telefoniche Analogiche e Numeriche*, La Goliardica Editrice, 1979

M. Schwartz: *Telecommunications Networks: Protocols Modeling and Analysis*, Addison Wesley, 1987

A.S. Tannenbaum: *Computer Networks*, Prentice-Hall, 1989

S. Gai, P. Nicoletti: *Reti Locali*, Scuola Superiore G. Reiss Romoli, 1995

**RETI DI TELECOMUNICAZIONI II****AG0258****Prof. Luigi FRATTA***Programma d'esame***1. Introduzione.**

Elementi costitutivi delle reti: architetture e protocolli. Le reti di telecomunicazione per l'interconnessione di calcolatori. Reti dati per trasmissione ad alta velocità.

**2. Elementi di teoria delle code.**

Code con servizio a distribuzione generale. Effetto delle discipline di coda. Classi di utenza e priorità. Introduzione alle reti di code.

**3. Elementi di teoria dei grafi.**

Algoritmi di ricerca degli alberi. Problemi di flusso nelle reti di comunicazione. Insieme di taglio. Flusso massimo. Problemi multicommodity.

**4. Reti a commutazione di pacchetto.**

Modello di commutatore. Analisi delle prestazioni di reti store-and-forward: calcolo dei ritardi. Tecniche di dimensionamento delle reti: Assegnamento delle capacità, dei flussi e della topologia.

**5. Protocolli di comunicazione.**

Modello di riferimento OSI (richiami). Analisi delle prestazioni dei protocolli di livello 2: stop & wait, go-back N, HDLC. Analisi delle prestazioni dei protocolli di livello 3. Tecniche di instradamento: deterministico, dinamico, centralizzato, distribuito. Tecniche di controllo della congestione: meccanismo di controllo a finestra.

**6. Reti a larga banda di tipo ATM.**

Reti integrate a larga banda. Controllo dell'accesso e della congestione. Servizi a circuito virtuale e senza connessione: Frame Relay, SMDS.

**7. Accesso multiplo in reti a diffusione.**

Reti geografiche a diffusione: utilizzo del satellite. Protocolli di accesso al canale comune; valutazione delle prestazioni. Reti locali: sistemi ad anello, tecniche a contesa su bus e tecniche polling. Confronto tra protocolli standard ISO 8802.

**8. Reti locali e metropolitane ad elevata velocità.**

Protocolli per reti ad elevata velocità. Reti metropolitane: FDDI, DQDB. Valutazione delle prestazioni. Interconnessione di reti locali: bridge, routers e gateways. Reti multiconnesse: reti multihop a deflessione e a divisione di lunghezza d'onda.

**9. Reti radio a pacchetto.**

Reti radio in area locale. Reti radio in area geografica: approccio cellulare. Valutazione delle prestazioni.

**10. Integrazione voce-dati.**

Voce a commutazione di pacchetto e tecniche di integrazione voce-dati.

*Modalità d'esame*

Prova scritta e orale.

*Libri consigliati*

Appunti delle lezioni.

Kleinrock: *Queueing Systems*, Volume I e II, John Wiley & Sons, 1975, 1976.

Decina-Roveri: *Code e Traffico nelle Reti di Comunicazione*, La Goliardica Editrice, 1978.

Frank, Frish: *Communication, Transmission and Transportation Networks*, John Wiley & Sons, 1973.

Maffioli: *Elementi di Programmazione Matematica*, Voi. I e II, Masson ed., 1991.

Schwarz: *Telecommunication Networks: Protocols Modeling and Analysis*, Addison-Wesley, 1987.

Hammond, O'Reilly: *Performance Analysis of Local Computer Networks*, Addison-Wesley, 1986.

Bertsekas, Gallager: *Data Networks*, Prentice-Hall, 1987.

**RICERCA OPERATIVA (A)****AQ0013****Proff. Carlo VERCELLIS, Francesca FUMERÒ***Programma d'esame***1. Introduzione.**

Processi decisionali e modelli quantitativi. Cenni all'evoluzione storica della Ricerca Operativa. Il ruolo degli strumenti informatici nell'utilizzo di modelli decisionali.

**2. Teoria delle decisioni.**

Analisi in condizioni di rischio: valore monetario atteso, perdita di opportunità attesa, valore atteso della perfetta informazione. Analisi in condizioni di incertezza. Alberi di decisione. Valore atteso dell'informazione campionaria. Funzioni di utilità. Analisi del punto di pareggio. Analisi marginale. Analisi di sensitività.

**3. Programmazione lineare (PL).**

Formulazione di modelli di PL. Assunzioni della PL. Interpretazione geometrica. Metodo del semplice. Metodo a due fasi. Analisi di sensitività. Analisi parametrica. Prezzi ombra, dualità e interpretazione economica. Analisi dell'output di PL (STORM). Esempi di PL: mix di produzione, pianificazione aggregata multi-periodo e multiprodotto, miscelazione e dieta, allocazione delle risorse, trasporto, portafoglio finanziario, scelte di investimenti.

**4. Programmazione lineare intera (PLI).**

Formulazioni di modelli di PLI. Interpretazione geometrica. Tecniche di rilasciamento. Metodi dei piani di taglio. Metodi di *branch and bound*. Cenni di teoria della complessità. Metodi euristici approssimati. Esempi di PLI: zaino (algoritmo *greedy*), *fixed-charge*, *scheduling* (algoritmi di Johnson e Jackson), localizzazione, *cutting stock*.

**5. Ottimizzazione combinatoria.**

Grafi: cammini, cicli, alberi. Cammini minimi: modello di PLI, algoritmi di Dijkstra, Floyd-Warshall. Alberi di supporto minimi: modello di PLI, algoritmi di Kruskal, Prim. Problemi di flusso: modello di PLI, algoritmo di Ford-Fulkerson, taglio di capacità minima, relazione di dualità. Problemi del commesso viaggiatore: modello di PLI, rilasciamenti, *branch and bound*, algoritmi *greedy*, euristiche dell'albero minimo e di Christofides.

**6. Modelli di previsione.**

Scelta di un modello in relazione a caratteristiche e obiettivi di analisi. Identificazione e confronto di modelli: indicatori statistici. Modelli qualitativi. Analisi di serie storiche: scomposizione di una serie storica; modelli a media mobile; modelli di *smoothing* esponenziale (Brown, Holt, Winter); modelli di tipo ARIMA (Box-Jenkins). Monitoraggio di un modello. Modello di regressione: semplice e multipla, lineare e nonlineare; coefficienti di correlazione e determinazione; test di significatività: test di Durbin-Watson; assunzioni e criticità. Cenni a modelli markoviani.

**7. Simulazione.**

Classificazione dei modelli di simulazione. Sviluppo di un modello: diagramma del ciclo di attività. Generazione di numeri casuali. Metodi Monte Carlo. Esempi di modelli a eventi discreti. Condizioni iniziali. Numero di esperimenti. Analisi dell'output. Teoria delle code: classificazione; processo di Poisson e distribuzione esponenziale; modello M/M/1; simulazione di un sistema di code.

**8. Project management.**

Caratteristiche di progetti complessi. WBDS. Modelli reticolari. Diagrammi di Gantt. Analisi del cammino critico. Analisi PERT. Analisi dei costi. Bilanciamento tempi-costi: modello di PL, algoritmo euristico. Analisi a risorse limitate: modelli di PLI, algoritmi euristici.

*Modalità d'esame*

L'esame si articola in una prova scritta e una prova orale, entrambe obbligatorie. Per ciascun appello, la data della prova orale viene comunicata al termine della prova scritta.

*Testi consigliati*

Il materiale didattico del corso è costituito da una raccolta di dispense e articoli che saranno distribuiti durante lo svolgimento del corso. Gli studenti possono consultare anche i seguenti testi:

R. E. Markland, J.R. Sweigart: *Quantitative methods: applications to managerial decision making*, Wiley, 1987.

P. Newbold: *Principles of Management Science*, Prentice-Hall, 1986.

S. P. Bradley, A.C. Hax, T.L. Magnanti: *Applied Mathematical Programming*, Addison Wesley, 1977.

D. G. Dannenbring, M. K. Starr: *Management Science: An Introduction*, McGraw-Hill, 1981.

C.H. Papadimitriou, K. Steiglitz: *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*, Prentice Hall, 1982.

F. Maffioli: *Elementi di programmazione matematica*, Masson, 1990/91

F. Fumerò: *Esercizi svolti di ricerca operativa*, Masson, 1994.

**RICERCA OPERATIVA (B)**  
**Prof. Alberto COLORNI****AG0058***Programma d'esame***1. Introduzione ai problemi decisionali.**

Modelli matematici di decisione e loro caratteristiche: decisori, obiettivi, informazione e grado di incertezza. Problemi, modelli, algoritmi, software. La programmazione matematica. Metodi evolutivi esatti ed euristici. Un catalogo di esempi.

**2. Problemi di tipo non lineare.**

Le condizioni analitiche della programmazione matematica. Formulazione del problema. Vincoli attivi, punto regolare, sottospazio tangente, direzioni ammissibili. Condizioni del 1° ordine. Il teorema di Lagrange. Il lemma di Farkas e il teorema di Kuhn-Tucker. La programmazione convessa. Condizioni del 1° ordine. La programmazione quadratica.

Generalità sui metodi evolutivi, convergenza globale e locale, velocità di convergenza. Metodi di ottimizzazione monodimensionale: gli algoritmi di bisezione, di Fibonacci, di Newton. Metodi classici per problemi non vincolati: gli algoritmi del gradiente e di Newton. Metodi delle direzioni coniugate.

Metodi per problemi vincolati: algoritmi delle direzioni ammissibili e delle funzioni di penalità. Cenni ai metodi di linearizzazione.

**3. Problemi di tipo lineare.**

Formulazione di un problema di programmazione lineare e proprietà generali. Esempi. Soluzioni di base. La forma standard. Il teorema fondamentale della programmazione lineare.

Metodo del simplesso. L'operazione di pivot. La forma canonica. Metodi per ottenere una soluzione ammissibile di base. Il teorema fondamentale del simplesso. La degenerazione.

Teoria della dualità: coppie di problemi primale-duale, proprietà principali. Teoremi della dualità e dello scarto complementare. Metodo del simplesso duale. Problemi di post-ottimalità e analisi di sensitività. Cenni al metodo del simplesso revisionato ed ai codici di calcolo esistenti.

Formulazione del problema di trasporto. Metodi di scelta di una soluzione ammissibile iniziale. L'algoritmo di Dantzig.

Formulazione del problema del massimo flusso. Teorema di Ford-Fulkerson. Cenni ad altri problemi di flusso.

**4. Problemi di tipo combinatorio.**

Problemi di ottimizzazione su grafo. Definizioni principali ed esempi. La complessità computazionale degli algoritmi. Cammini ottimi: algoritmi di Dijkstra e di Bellman. Il Pert. Problemi intrattabili. Cicli ottimi euleriani e hamiltoniani. Il problema del commesso viaggiatore e le sue varianti. Alberi ottimi: l'algoritmo di Kruskal per l'albero di copertura. Sottografi ottimi: il problema delle p-mediane.

Algoritmi di derivazione naturale: reti neurali, algoritmi genetici, simulated annealing, tabu search, ant System. Alcune applicazioni a problemi di ottimizzazione combinatoria.

La programmazione a numeri interi: formulazione ed esempi. Metodi di taglio per problemi di programmazione lineare a numeri interi. Metodi di enumerazione implicita. Il metodo di "Branch and Bound" e la sua applicazione ai casi della programmazione lineare a numeri interi, della programmazione binaria, del problema del commesso viaggiatore.

**5. Problemi con strutture decisionali complesse.**

Introduzione alle strutture decisionali e ai sistemi di supporto alle decisioni. Il caso più semplice di modello decisionale: la programmazione matematica. Esempi di sistemi software di supporto alle decisioni.

Modelli di programmazione a molti obiettivi. Dominanza e soluzioni paretiane. Metodi dei pesi e dei vincoli. Scelta della soluzione finale. Programmazione a molti attributi. Analisi gerarchica. Il metodo dei confronti a coppie. Incomparabilità. Concordanza e discordanza. I metodi Electre. Cenni ai metodi interattivi.

Modelli in ambiente stocastico: la programmazione stocastica e la teoria delle decisioni. Gli esperimenti. Metodi di risoluzione in forma normale e mediante l'albero delle decisioni.

Modelli conflittuali: la teoria dei giochi. Strategie pure e miste. Punti di equilibrio. Giochi a due persone e a somma nulla. Formulazione mediante la programmazione lineare. Il teorema di Von Neumann.

### *Esercitazioni*

Durante l'anno potranno essere svolte esercitazioni dedicate allo studio di casi e all'esame di modelli tratti dai settori economico, organizzativo-gestionale, dell'ambiente, della pianificazione territoriale, ecc. Esiste inoltre la possibilità di usufruire di un software didattico in rete, per esercitazioni numeriche "self Service" e per il ripasso di argomenti trattati a lezione.

### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta o, eventualmente, in una prova orale. Durante l'anno verranno svolte due prove scritte facoltative (compitini) riguardanti di volta in volta l'intero programma svolto in precedenza. Tali prove, se superate positivamente, sono equivalenti all'intera prova scritta. Durante l'anno potranno essere svolte dagli studenti interessati, previo accordo con il docente, progetti sostitutivi dell'esame.

### *Libri consigliati*

Il libro di testo è:

A.Colomi: *Ricerca Operativa*, CLUP, 1984.

Sono inoltre disponibili:

1. un software di supporto (Ipertesto di Ricerca Operativa),
2. una raccolta di temi d'esame risolti,
3. alcuni appunti integrativi (Euristiche, Analisi a molti criteri).

Per maggiori approfondimenti, gli studenti sono invitati a consultare i seguenti testi.

V.Chvatal: *Linear Programming*, Freeman, 1983.

G.B.Dantzig: *Linear Programming and Extensions*, Princeton Univ. Press, 1963.

M.R.Garey, D.J.Johnson: *Computers and Intractability*, Freeman, 1979.

A.Goicoechea, D.R.Hansen, L.Duckstein: *Multiobjective Decision Analysis*, John Wiley, 1982.

G. F.Hadley: *Nonlinear and Dynamic Programming*, Addison-Wesley, 1974.

T.C.Hu: *Integer Programming and Network Flows*, Addison-Wesley, 1969.

L.Lasdon: *Optimization Theory for Large System*, McMillan, 1970.

E.L.Lawler: *Combinatorial Optimization: Networks and Matroids*, Holt, Rinehart & Winston, 1976.

E.L.Lawler, J.K.Lenstra, A.H.Rinnooy Kan, D.Shmoys (eds.): *The Traveling Salesman Problem*, Wiley, 1985.

D.Luce, H.Raiffa: *Games and Decisions*, John Wiley, 1967.

D.J.Luenberger: *Introduction to Linear and Nonlinear Programming*, Addison-Wesley, 1973.

K.G.Murty: *Linear and Combinatorial Programming*, Wiley, 1976.

C.H.Papadimitriou, K.Steiglitz: *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*, Prentice-Hall, 1982.

H. Raiffa: *Decision Analysis*, Addison-Wesley, 1968.

A.Schrijver: *Theory of Linear and Integer Programming*, Wiley, 1986.

J.F.Shapiro: *Mathematical Programming*, Wiley, 1979.

H.M. Wagner: *Principles of Operations Research*, Prentice-Hall, 1975.

**RICERCA OPERATIVA (C)****AG0111****Prof. Francesco MAFFIOLI***Programma d'esame***1. Introduzione alla Ricerca Operativa.**

Modelli matematici di decisione: numero di obiettivi e di decisori, grado di incertezza, metodi di ottimizzazione e di simulazione. Esempi applicativi. Nozioni elementari di teoria dei grafi. Il problema della struttura dei dati per il calcolatore.

**2. Cenni sulla Complessità degli Algoritmi.**

Criteri di valutazione. Problemi NP-completi e NP-difficili. Riduzione dei problemi. Principali classi di complessità. Approssimabilità dei problemi.

**3. Programmazione Lineare.**

Formulazione del problema. Proprietà generali di un problema lineare. Soluzioni di base. Teoremi fondamentali. Metodo del simplesso. Teoria della dualità. Simpleso duale. Analisi di sensitività. Problemi multiobiettivo. Appartenenza a P della programmazione lineare.

**4. Programmazione Combinatoria: problemi polinomiali.**

Algoritmo "greedy" e matroidi; alberi minimi. Intersezione di due matroidi; arborescenze ottime. Matroidi con condizioni di parità; problemi di accoppiamento. Cammini minimi. Reti di flusso. Flusso massimo. Flusso ammissibile. Flusso di costo minimo. Metodo degli archi non conformi. Problemi di flusso e programmazione lineare. Problemi di trasporto. Flussi multiterminale e multimateriale.

**5. Programmazione combinatoria: problemi (probabilmente) non-polinomiali.**

Programmazione a numeri interi. Branch-and-Bound. Rilassamento lagrangiano e risoluzione del problema duale. Metodo dei piani di taglio. Metodi poliedrali speciali (cenco). Struttura del Branch-and-Cut. Alcuni problemi ben approssimabili. Algoritmi di ricerca locale.

**6. Programmazione non-lineare.**

Formulazione del problema e classificazione dei metodi di soluzione. Condizioni analitiche. Funzioni convesse. Metodi evolutivi. Ottimizzazione monodimensionale. Problemi non-vincolati; metodi a metrica variabile. Programmazione quadratica. Problemi vincolati convessi. Il problema dell'ottimizzazione globale.

**7. Modelli per strutture decisionali complesse.**

Programmazione a molti obiettivi. Programmazione in ambiente stocastico; pianificazione gerarchica.

*Esercitazioni*

Potranno consistere di esercitazioni numeriche, di dimostrazioni in aula, di discussioni di casi, etc.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta o, eventualmente, in una prova orale. Durante l'anno verranno svolte due prove scritte facoltative (compitini) riguardanti di volta in volta l'intero programma svolto in precedenza. Tali prove, se superate positivamente, sono equivalenti all'intera prova scritta.

*Libro di testo*

F. Maffioli: *Elementi di Programmazione Matematica*, voi. 1 e 2, Masson, 1991.

*Libri consigliati:*

Come testi in italiano si può prendere anche visione di:

A. Colomi: *Ricerca Operativa*, Zanichelli ed., 1988.

R.L. Graham, D.E. Kruth, O. Patashnik, *Matematica Concreta*, Ed. Hoepli, 1992.

F.S. Hillier, G.L. Lieberman: *Introduzione alla Ricerca Operativa*, F. Angeli, 1980.

- F. Schoen, *Teoria e Metodi di Ottimizzazione Lineare*, La nuova Italia Scientifica, 1991.
- Gli studenti sono invitati anche a consultare per eventuali estensioni o approfondimenti i libri seguenti:
- E.H.L. Aarts, J.K. Lenstra (eds.): *Local Search in Combinatorial Optimization*, Wiley, 1996.
- R.K. Ahuja, T.L. Magnanti, J.B. Orlin, *Network Flows*, Prentice Hall, 1993.
- M.S. Bazaraa, H.D. Sherali, C.M. Shetty: *Nonlinear programming*, Wiley, 1993.
- P. Bradley, B.L. Fox, L.E. Schrage: *A Guide to Simulation*, Springer Verlag, 1983.
- V. Chvatal: *Linear Programming*, Freeman, 1983.
- R.S. Garfinkel, G.L. Nemhauser: *Integer Programming*, Wiley, 1973.
- M. Gondran, M. Minoux: *Graphes et Algorithmes*, Eyrolles, 1979.
- E.L. Lawler: *Combinatorial Optimization: Networks and Matroids*, Holt, Rinehart & Winston, 1976.
- D. Luce, H. Raiffa: *Games and Decisions*, Wiley, 1967.
- K.G. Murty: *Linear and Combinatorial Programming*, Wiley, 1976.
- G. L. Nemhauser, L.A. Wolsey: *Integer and Combinatorial Optimization*, Wiley, 1988.
- C. Papadimitriou: *Computational Complexity*, Addison-Wesley, 1994.
- R.G. Parker, R.L. Rardin: *Discrete Optimization*, Academic Press, 1988.
- A. Schrijver: *Theory of Linear and Integer Programming*, Wiley, 1986.
- M.M. Syslo, N. Deo, J.S. Kowalik: *Discrete Optimization Algorithms*, Prentice-Hall, 1983.
- H. M. Wagner: *Principles of Operations Research*, Prentice-Hall, 1975.
- P. Williams: *Model Building in Mathematical Programming*, Wiley 1985.

**RILEVAMENTO GEOLOGICO-TECNICO****AY0100****Prof.ssa Laura SCESI***Programma d'esame***1) GEOLOGIA GENERALE.**

- Costituzione interna della Terra.
- Fenomeni endogeni principali (vulcani e terremoti).
- Minerali delle rocce, riconoscimento, proprietà tecniche, utilizzi.
- Terre e rocce, riconoscimento, proprietà tecniche, utilizzi.
- Elementi fondamentali di tettonica e stratigrafia.

**2) PROSPEZIONE GEOLOGICA.**

- Il rilevamento geologico superficiale.
- Carte e sezioni geologiche.
- Il rilevamento geologico-strutturale.
- Nozioni sulle prospezioni indirette: geoelettrica, geosismica, loro impieghi.
- Indagini geognostiche.
- Prove di laboratorio.

**3) IDROGEOLOGIA.**

- Le acque nelle terre sciolte.
- Le acque nelle rocce.
- Le acque in funzione della stabilità dei versanti.
- Studi idrogeologici nei progetti delle grandi opere di ingegneria civile.

**4) GEOLOGIA TECNICA.**

- Le Frane.
- Analisi di stabilità dei versanti.
- Opere di stabilizzazione e sistemazione dei pendii.

- Studi geologico-tecnici per le opere di ingegneria geotecnica, idraulica e strutturale (strade, gallerie, dighe, ecc.).
- Tecniche di consolidamento.

#### *Esercitazioni*

Si prevede un corso di esercitazioni sul terreno destinato alla conoscenza degli elementi fondamentali del rilevamento geologico-tecnico.

#### *Modalità d'esame*

Al termine del corso verrà svolto un colloquio di esame in base al quale saranno verificate le conoscenze acquisite durante il corso e la preparazione del candidato

#### *Libri consigliati*

L. Scesi, M. Papini: *Il Rilevamento Geologico-Tecnico* (Geologia Applicata 1), Città Studi Edizioni, Milano.

## **ROBOTICA (A)** **Prof.ssa Giuseppina GINI**

**AG0210**

#### *Programma d'esame*

### **1. Introduzione e terminologia.**

I robot nell'automazione industriale: manipolatori e robot mobili. L'automazione dei processi discreti: strumenti CAD, CAM e CIM. Classi di applicazioni di robot ed aspetti del mercato della robotica. I robot nei servizi: dai telemanipolatori ai robot autonomi.

### **2. Formalismi di base.**

Formalismi di base per gestire lo spazio 3D e le catene cinematiche: rappresentazione in coordinate omogenee. Formalismi per rappresentare piani di azioni: operatori e vincoli.

### **3. Elementi di base dei robot.**

Principali strutture cinematiche. Attuatori e sensori interni. Caratteristiche misurabili dei robot: precisione, ripetibilità, accuratezza. Calcolo delle traiettorie: punto a punto, punto a punto coordinato, a traiettoria controllata. Metodi di asservimento: di posizione, di velocità, di forza. Architetture di controllo.

### **4. Sensori e visione.**

I sensori per misure di contatto, di distanza, di forza. Uso dei sensori nel robot e nella cella. Architetture di sistemi di controllo di robot sensoriali. L'elaborazione di immagini: aspetti hardware e software; il riconoscimento e la localizzazione mediante visione 2D; visione attiva e passiva 3D, ricostruzione 3D e stereomaching. Applicazioni industriali della visione.

### **5. Programmazione dei robot.**

Metodi di programmazione: sul campo e mediante linguaggi. Classificazione dei linguaggi per robot; analisi di alcuni linguaggi a livello dei giunti (Armbasic), del manipolatore (VAL, AML), degli oggetti (AL, RAPT). Messa a punto di programmi attraverso la simulazione.

### **6. La autonomia dei robot: pianificazione e apprendimento.**

Tecniche di sviluppo del programma dalla specifica del compito; pianificazione di sequenze, pianificazione di movimenti in presenza di ostacoli, pianificazione delle prese. Allocazione di attività e risorse, scheduling. Il problema del movimento in vicinanza di ostacoli. Pianificazione reattiva ed

integrazione con i sensori. Architetture di robot autonomi (subsumption architecture, modello cognitivo, ecc). Programmazione e apprendimento di comportamenti.

#### *Esercitazioni*

Saranno svolte esercitazioni numeriche in aula e sperimentali nel laboratorio di robotica del Dipartimento di Elettronica e Informazione.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta ed una orale centrata attorno alla discussione di un elaborato sperimentale che verrà assegnato agli studenti durante il corso.

#### *Testi e libri consigliati*

Oltre ad appunti delle lezioni, si consigliano:

P. J. McKerrow: *Introduction to Robotics*, Addison-Wesley, 1991.

K. Fu, R. Gonzalez, C. Lee: *Robotica*, McGraw-Hill, Libri Italia, 1989.

R. Paul: *Robot Manipulations: Mathematics, Programming and Control*, MIT Press, 1981.

J. Engelberger: *Robotics in Service*, Kogan Page, 1989

J.C. Latombe: *Robot Motion Planning*, Kluwer Academic Pubi, Boston, 1991

P. Maes: *Designing Autonomous Agents*, MIT Press, 1991.

## **ROBOTICA (B)**

**AG0206**

**Prof. Marco SOMALVICO**

#### *Programma d'esame*

##### **1. Introduzione.**

L'automazione industriale dei processi discreti: sistemi specifici, rigidi, sistemi programmabili, automazione flessibile.

##### **2. Elementi di base.**

Strutture cinematiche, gradi di libertà: Azionamenti, tipi di controllo, trasduttori, sensori; Precisione di posizionamento e di ripetibilità; Rigidità, vibrazioni, accelerazioni; Classificazione dei robot industriali.

##### **3. Unità di governo.**

Architetture di unità di governo a mono e multi microcalcolatori; Controllo di tipo punto a punto e di tipo continuo; Metodi di asservimento (di posizione, di forza, di velocità).

##### **4.1 sensori.**

Diversi tipi di sensori: forza: di contatto, di prossimità, ecc.. Uso dei sensori nella robotica.

##### **5. La visione.**

L'elaborazione di immagini: problematiche generali; Il riconoscimento di oggetti bidimensionali; Applicazioni industriali di sistemi di visione.

##### **6. Programmazione.**

Metodi di programmazione dei robot industriali: programmazione sul campo con autoapprendimento, programmazione con linguaggio di programmazione; Programmazione in linea e programmazione fuori linea; Classificazione dei linguaggi di programmazione per livelli; Analisi dei linguaggi di programmazione usati per la robotica; traduttori di tali linguaggi.

**7. Il ruolo della Intelligenza Artificiale nella robotica.**

Metodi di rappresentazione della conoscenza e di risoluzione dei problemi; Il problema dell'uscita automatica da situazioni di errore; La pianificazione automatica; La costruzione e gestione di modelli geometrici di oggetti e delle azioni; L'integrazione con sistemi di visione sofisticati.

**8. Sistemi esperti.**

Sistemi esperti per robot e loro integrazione nella Fabbrica del Futuro: generalità sui sistemi esperti; tecniche di rappresentazione della conoscenza; progetto di algoritmi inferenziali, applicazioni tipiche; casi di studio.

**9. Le applicazioni dei robot industriali.**

Classi di applicazioni di robot industriali e problematiche connesse con le diverse classi.

**10. Aspetti economici e sociali.**

Valutazione economica della produttività dei robot; Il problema della riorganizzazione del lavoro nella fabbrica robotizzata.

*Esercitazioni*

Verranno svolte sia esercitazioni teoriche, sia esercitazioni sperimentali nel Laboratorio di Robotica del Dipartimento di Elettronica.

*Modalità d'esame*

Il corso prevede l'assegnazione a gruppi di studenti di progetti che in taluni casi potranno evolversi in tesine o tesi. L'esame consiste in una prova orale che prevede come parte integrante la discussione dell'elaborato del progetto svolto.

*Libri consigliati*

R.P. Paul: *Robot Manipulations: Mathematics, Programming, and Control*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA, 1981.

M. Somalvico: *Robotica Industriale*, Appunti delle lezioni.

F. Hayes-Roth, D.A. Waterman, D.B. Lenot: *Building Expert Systems*, Addison-Wesley Publi. Co. Inc., Reading, Massachusetts, USA, 1983.

**ROBOTICA INDUSTRIALE (1/2 annualità)****AG0259****Prof. GianAntonio MAGNANI***Programma d'esame*

**Introduzione.** L'impiego dei robot nelle applicazioni industriali.

**Cinematica.** Posizione e orientamento di un corpo rigido. Matrici di rotazione. Rappresentazioni minime dell'orientamento. Cinematica diretta. Convenzione di Denavit-Hartenberg. Cinematica inversa. Soluzione per manipolatore con polso sferico.

**Cinematica differenziale e statica.** Jacobiano geometrico. Jacobiano analitico. Singolarità. Inversione della cinematica differenziale. Equilibrio delle forze.

**Dinamica.** Dinamica diretta e inversa. Formulazione dei modelli matematici in forma chiusa di strutture di manipolazione semplici. Esempi.

**Pianificazione della traiettoria.** Percorso e traiettoria. Traiettorie nello spazio dei giunti. Traiettorie nello spazio operativo.

**Controllo del moto.** Controllo indipendente ai giunti. I sensori di posizione angolare e gli attuatori di impiego più comune. Modellizzazione e compensazione dell'elasticità torsionale e dell'attrito.

Controllo centralizzato. Compensazione in andata a coppia precalcolata. Controllo a dinamica inversa. Controllo nello spazio operativo (cenni).

**Controllo dell'interazione.** Interazione del manipolatore con l'ambiente. Vincoli naturali e vincoli artificiali. Controllo di impedenza. Controllo ibrido forza-posizione.

#### *Esercitazioni*

Verrà presentato ed analizzato un controllore industriale moderno: il COMAU C3G 9000 negli aspetti di programmazione, architettura funzionale, architettura hardware, architettura software. Gruppi di studenti potranno partecipare e svolgere esercitazioni sul robot COMAU SMART S, dotato di controllore C3G, del Laboratorio di Automatica.

Verranno svolte esercitazioni individuali al computer riguardanti la simulazione dinamica di strutture robotiche semplici e delle relative tecniche di controllo

#### *Modalità d'esame*

Per quegli studenti che avessero seguito anche il corso di *Tecnologie dei sistemi di controllo* è prevista una prova d'esame coordinata tra i due corsi.

#### *Libri consigliati*

L. Sciavicco, B. Siciliano: *Robotica industriale: modellistica e controllo di robot manipolatori*, McGraw Hill, 1995

M. W. Spong, M. Vidyasagar: *Robot Dynamics and Control*, John Wiley & Sons, 1989

J.J. Craig: *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*, Addison-Wesley, 1986

G. Ferretti, G. Magnani: *Il controllo del moto e dell'interazione nei robot industriali*, Appunti, 1996

## **SCIENZA DEI MATERIALI**

**AF0111****Prof. Giuseppe ZERDI**

#### *Programma d'esame*

##### **Richiami di struttura della materia.**

a) Dall'atomo alla molecola al cristallo. Architettura e simmetria molecolare e cristallina. Le forze a livello atomico e molecolare. Vibrazioni molecolari e stati elettronici in molecole e cristalli. Foni, teoria delle bande.

b) Cenni di meccanica molecolare.

##### **Metodi fisici per la caratterizzazione molecolare e cristallina dei materiali.**

Metodi diretti: Microscopia ottica ed elettronica, Scanning Tunneling Microscopy, Microscopia con Force Method. Metodi indiretti: diffrazione di raggi X e neutroni; metodi ottici e termici.

##### **Struttura dei materiali di interesse in Ingegneria.**

Cristalli mono e tridimensionali. Cristalli liquidi. Materiali amorfi. Stato metallico: Formazione di materiali metallici. Polimeri: Formazione di materiali polimerici. Materiali ceramici: Formazione dei materiali ceramici. Materiali non cristallini: gel, elastomeri.

##### **Difetti strutturali.**

In molecole ed in cristalli mono e tridimensionali. Mobilità di atomi e molecole. Diffusione. Termodinamica dei difetti.

##### **Trasformazioni di fase.**

Diagrammi di stato in fase condensata. Segregazione, Solubilità, Compatibilità.

**Proprietà meccaniche.**

Origine atomica del comportamento elastico lineare. Elasticità ritardata. Trasporto di materia. Scorrimento viscoso dei materiali. Origini microscopiche delle proprietà dinamico meccaniche dei materiali. Processi submicroscopici nella frattura dei materiali.

**Proprietà elettriche.**

Conducibilità ionica ed elettronica. Materiali conduttori, semiconduttori e superconduttori. Materiali piezo, piro e ferroelettrici. Conducibilità in materiali organici. Attuatori.

**Proprietà magnetiche.**

Diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo. Risonanza Magnetica Nucleare.

**Proprietà ottiche.**

Assorbimento, Trasmissione, Rifrazione, Riflessione. Fotoconducibilità. Ottica non lineare. Materiali per fotonica e per l'Elettronica Molecolare.

*Libri consigliati*

Verranno forniti schemi di studio, testi, monografie e testi con riferimenti specifici a quanto trattato nelle lezioni.

*Nota agli studenti*

Lo scopo del corso è quello di dare allo studente le basi necessarie per la comprensione delle proprietà e dei fenomeni a livello submicroscopico (molecolare) e microscopico (aggregazione e morfologia). Verranno trattate principalmente le proprietà del materiale che determinano le proprietà macroscopiche del manufatto di particolare importanza in Tecnologia e in Ingegneria.

**SCIENZA DEI METALLI****AE0009****Prof. Pietro Luigi Cavallotti***Programma d'esame***1. Struttura cristallina dei metalli e delle leghe.**

Reticoli spaziali, sistemi cristallini e struttura degli elementi. Strutture compatte, difetti reticolari, struttura di dislocazioni e bordi grano. Forze di legame e coesione. Configurazioni elettroniche e struttura dei metalli e delle leghe; stima dell'entalpia di formazione delle leghe. Diversi tipi di composti intermetallici; diffusione e formazione di intermetallici, strati barriera. Leghe a memoria di forma, ferroelettricità, superconduttività.

Metodi fisici di indagine dei materiali metallici: diffrazione di raggi X e di elettroni, microscopia di superficie ed elettronica di trasmissione, spettroscopie di superficie, analisi termiche.

**2. Comportamento termodinamico dei metalli e trasformazioni allo stato solido.**

Richiami di termodinamica chimica. Proprietà dei solidi e trasformazioni allo stato solido. Diagrammi di stato. Ordine a lungo e corto raggio. Fenomeni critici. Trasformazioni spinodali e transizioni ordine-disordine. Soluzioni solide ed effetto dell'energia elastica, coerenza ed ordine.

**3. Proprietà termiche, elettriche ed ottiche dei materiali.**

Comportamento meccanico dinamico, fononi. Capacità termica, conduttività e coefficiente di espansione termica. Conducibilità termica dei metalli. Densità degli stati ed energia di Fermi. Effetti della temperatura. Conducibilità ionica. Emissioni elettroniche nei metalli. Giunzioni metallo-metallo e metallo semiconduttore. Rettificazione, effetto fotovoltaico. Luminescenza, azione laser e maser. Proprietà dielettriche.

**4. Comportamento magnetico dei materiali metallici.**

Grandezze magnetiche ed unità di misura. Proprietà magnetiche. Processi di magnetizzazione nei ferromagneti.

Applicazioni dei magneti dolci e dei magneti duri. Materiali per registrazione magnetica: il processo, il sistema, i dischi (magnetici duri e flessibili, magnetoottici), le testine (ad induzione, magneto-resistive).

**5. Comportamento elettrochimico dei metalli e tecnologie di superficie.**

Conducibilità elettrica. Comportamento elettrochimico e proprietà dei metalli. Elettrodeposizione dei metalli e delle leghe. Passività e corrosione dei metalli in soluzione acquosa. Parametro di normalità-inerzia e comportamento cinetico (catodico ed anodico) dei metalli. Processi di deposizione chimica. Deposizione da fase gas, influenza del plasma sulla deposizione. Realizzazione di strati in elettronica ed interconnessioni. Brasatura di componenti elettronici. Processi di spruzzatura e saldatura. Processi di modifica superficiale: carburazione, nitrurazione, ossidazione.

**6. Deformazione plastica dei metalli.**

Dislocazioni e vettore di Buegers. Movimento ed interazione delle dislocazioni; interazione tra atomi di soluto e dislocazioni. Dinamica delle dislocazioni. Scorrimento e geminazione. Incrudimento. Invecchiamento dopo deformazione. Orientamenti preferenziali per deformazione. Meccanismi di deformazione. Superplasticità. Meccanismi di frattura: frattura duttile e fragile. Deformazione ciclica e fatica. Scorrimento viscoso.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una discussione su una classe di materiali metallici, con esame del loro comportamento secondo quanto è oggetto del corso, anche in vista di possibili applicazioni.

*Libri consigliati*

Dispense del corso.

P. Haasen: *Physical Metallurgy*, Cambridge University press, 2nd ed. 1986.

R.J.Borg, G.J.Dienes: *The physical chemistry of solids*, Academic press, Boston 1992.

M. Lazzari, B. Rivolta, D. Sinigaglia: *Deformazione plastica dei materiali metallici*. Ed. CLUP, Milano 1972.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI****AN0021**

(per gli allievi di Ingegneria Aerospaziale)

**Prof. Adolfo ZAVELANI ROSSI, Umberto PEREGO**

*Programma d'esame*

**1. Strutture monodimensionali piane:** Libertà di movimento e vincoli; strutture isostatiche ed iperstatiche, casi anomali.

**2. Strutture isostatiche:** determinazione delle reazioni dei vincoli e delle azioni interne; le strutture reticolari.

**3. Statica dei continui deformabili:** stato di sforzo e di deformazione; condizioni di equilibrio e di congruenza; legame sforzi-deformazioni; lavoro di deformazione ed energia elastica; corpi isotropi e omogenei.

**4. Il problema di De Saint Venant:** azione assiale; flessione, torsione, trattazione approssimata del taglio; taglio e torsione nei profili sottili chiusi e aperti.

5. **Calcolo degli spostamenti:** teoria della curva elastica per le travi inflesse; il principio dei lavori virtuali.
6. **Strutture iperstatiche:** calcolo delle reazioni dei vincoli con il metodo delle forze; influenza di cedimenti di vincoli e di variazioni di temperatura.
7. **Il lavoro di deformazione:** teoremi di Clapeyron, Betti, Maxwell, Castigliano, Menabrea e teorema della stazionarietà dell'energia potenziale totale; applicazione al calcolo di spostamenti elastici e alla determinazione di reazioni iperstatiche.
8. **La verifica della resistenza puntuale.**
9. **La stabilità dell'equilibrio elastico.**
10. **Introduzione al calcolo plastico delle strutture:** teoremi fondamentali del calcolo a rottura; metodi statici e cinematici.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni si svolgono in stretta coordinazione con gli argomenti delle lezioni ed hanno lo scopo di proporre all'allievo la metodologia più efficace per affrontare temi strutturali elementari.

#### *Libri consigliati*

*Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, a cura del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, ed. CLUP, Milano.

L. Corradi Dell'Acqua: *Meccanica delle Strutture*, ed. Me. Graw Hill, Milano.

V. Franciosi: *Scienza delle Costruzioni* ed. Liguori, Napoli.

A. Castiglioni, V. Petrini, C. Urbano: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, ed. Masson Italia Editori, Milano.

A. Zavelani-Rossi: *Problemi di Scienza delle Costruzioni*, (voi. I: Cinematica e Statica, voi. II: Sistemi elastici di travi, voi. III: Profili sottili), ed. CLUP, Milano.

## **SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

**AN0021**

(per gli allievi di Ingegneria Ambientale)

**Prof. Alfredo CASTIGLIONI**

#### *Programma d'esame*

1. **I problemi**, i principi ed i procedimenti generali. Le ipotesi di base e le approssimazioni della Scienza delle Costruzioni.
2. **I sistemi piani di travi.** Le libertà di movimento - i vincoli - le travature isostatiche ed iperstatiche; i casi anomali.
3. **Strutture isostatiche.** Determinazione delle reazioni dei vincoli e delle azioni interne. Le strutture reticolari.
4. **La geometria delle masse.**
5. **Statica dei continui deformabili.** Stato di sforzo e di deformazione: condizioni di equilibrio e di congruenza. Legame sforzi- deformazioni; potenziale elastico: corpi isotropi ed omogenei.
6. **Il problema di De Saint Venant.** Azione assiale, flessione; torsione di prismi con sezione di forma circolare e non circolare e a profilo sottile aperto e chiuso; trattazione approssimata della flessione composta.
7. **Il postulato di De Saint Venant** e le sue conseguenze nelle applicazioni tecniche.

8. **Il calcolo degli spostamenti.** Teoria della curva elastica per le travi inflesse. Il principio dei lavori virtuali; applicazione al calcolo degli spostamenti elastici ed anelastici.
9. **Strutture iperstatiche.** Calcolo delle reazioni dei vincoli con il metodo delle forze e con il metodo delle deformazioni. Influenze di cedimenti di vincoli e di variazioni di temperatura.
10. **Il lavoro di deformazione.** Teoremi di Clayperon, Betti, Maxwell. Coefficienti di influenza. Teoremi di Castigliano e Menabrea. Teorema dell'energia potenziale totale.
11. **La verifica di resistenza.**
12. **La stabilità deirequilibrio elastico.** Il caso delle aste sottili caricate di punta: criterio statico, criterio energetico.
13. **Rassegna di problemi strutturali in campo dinamico e non lineare.**

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni, che sono parte essenziale del corso, avranno lo scopo di promuovere la partecipazione attiva degli allievi alla soluzione di problemi concreti della disciplina.

#### *Modalità d'esame*

L'esame orale sarà preceduto dallo svolgimento di un esercizio scritto.

#### *Libri consigliati*

*Lezioni di Scienza delle Costruzioni* a cura del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, ed. CLUP-Milano. O. Belluzzi: *Scienza delle Costruzioni* voi. I, ed. Zanichelli - Bologna.

A. Castiglioni, V. Petrini, C. Urbano: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, ed. Masson Italia Editori-Milano.

M. Capurso: *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora Editrice-Bologna.

## **SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

**AN0021**

(per gli allievi di Ingegneria Biomedica e di Ingegneria dei Materiali)

**Prof. Roberto CONTRO**

#### *Programma d'esame*

1. **Principi generali di meccanica dei solidi e delle strutture.** Leggi fondamentali ed ipotesi semplificative. Modelli di comportamento continui e discontinui. Nozione di corpo continuo e di continuo strutturato. Cenno al significato di evento critico e rassegna dei vari tipi di crisi. Introduzione all'analisi ed al progetto.
2. **Meccanica del continuo deformabile.** Definizione e rappresentazione dello stato di sforzo; definizione e rappresentazione dello stato di deformazione. Equazioni di equilibrio; equazioni di congruenza. Principio dei lavori virtuali.
3. **Relazioni costitutive.** Generalità: scala di osservazione e di rappresentazione; consistenza delle relazioni costitutive: evidenza sperimentale, principi assiomatici e vincoli di coniugazione. Relazioni costitutive per i continui deformabili: elasticità e modelli costitutivi elastici; elasticità lineare; simmetrie costitutive: principali tipi di anisotropia; modelli nonlineari olonomi e anolonomi; elementi di plasticità. Comportamenti dipendenti dal tempo: fondamenti di viscoelasticità. Cenno ad altri comportamenti evolutivi: danneggiamento, decadimento, rimodellamento.
4. **Il problema elastostatico.** Relazioni governanti e proprietà della soluzione. Metodi di soluzione; considerazioni sui metodi di discretizzazione e sull'analisi numerica. Alcune proprietà del lavoro di deformazione. Proprietà estremali.

Problemi piani. Solidi prismatici alla De Saint Venant: soluzioni in presenza delle singole componenti di azione interna.

**5. Meccanica delle strutture.** Sistemi monodimensionali piani: analisi delle condizioni di equilibrio. Analisi statica dei sistemi staticamente determinati. Teoria delle travi. Calcolo degli spostamenti. Analisi statica dei sistemi staticamente indeterminati. Elementi di teoria delle piastre. Modelli elementari di membrana. Elementi di statica dei compositi laminati.

**6. Eventi critici.** Invalidamento delle teorie strutturali, alterazione dell' integrità e delle prestazioni funzionali. Raggiungimento e superamento di livelli costitutivi, superamento di limiti deformativi, esaurimento della capacità portante.

**7. Verifica della resistenza.** Criteri di resistenza derivati dalle principali condizioni di plasticità o di rottura; nozione di resistenza e nozione di sicurezza. Criteri elementari di meccanica della frattura.

**8. Stabilità dell'equilibrio elastico.** Metodo geometrico e metodo energetico; instabilità di un'asta compressa in diverse condizioni di vincolo; instabilità di sistemi semplici.

**9. Introduzione ai metodi di analisi numerica.** Introduzione comparativa ai metodi numerici di analisi strutturale. Fondamenti del metodo degli elementi finiti. Discretizzazione del mezzo e interpolazione del campo degli spostamenti. Forze nodali equivalenti e matrice di rigidità di un elemento finito. Elementi di ordine elevato e isoparametrici. Assemblaggio. Soluzione e critica dei risultati.

#### *Esercitazioni*

Gli argomenti precedentemente elencati sono ordinati secondo una sequenzialità logica che non sarà perfettamente rispettata per la necessità di ripartirli tra lezioni ed esercitazioni. La ripartizione è condizionata dai tempi di apprendimento di capacità risolutive di problemi riguardanti la teoria delle travi ed alcuni casi significativi per i Corsi di laurea interessati.

#### *Modalità d'esame*

L' esame consiste di una prova orale preceduta da una prova scritta.

#### *Libri consigliati*

L. Corradi: *Meccanica delle Strutture*, ed. Me Graw-Hill Italia, Milano.

L. E. Malvern: *Introduction to the Mechanics of a Continuous Medium*, ed. Prentice-Hall, New Jersey.

A. Castiglioni, V. Petrini, C. Urbano: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, ed. Masson Italia Editori, Milano.

Di alcuni argomenti verranno forniti appunti o riferimenti di testi, tra i quali i seguenti offrono letture, per personali approfondimenti:

M. B. Allen, I. Herrera, G.F. Pinder: *Numerical Modelling in Science and Engineering*, ed. Wiley, New York.

A.P. Boresi, K.P. Chong: *Elasticity in Engineering Mechanics*, ed. Elsevier, New York.

A. Carpinteri: *Scienza delle Costruzioni*, ed. Pitagora, Bologna.

A. Carpinteri: *Meccanica dei Materiali e della Frattura*, ed. Pitagora, Bologna

T.-W. Chou, F.K. Co, Ed.s: *Textile Structural Composites*, ed. Elsevier, Amsterdam

J. Fedá: *Mechanics of Particulate Materials*, ed. Elsevier, Amsterdam.

Y.C. Fung: *Foundations of Solid Mechanics*, ed. Prentice-Hall, New Jersey.

N. J. Gibson, M.A. Ashby: *Cellular Solids*, ed. Pergamon Press, Oxford.

S.W. Tsai, H.T. Hahn: *Introduction to Composite Materials*, ed. Technomic., Lancaster.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI****AN0021**

(per allievi di Ingegneria Chimica)

**Prof. Alessandro CAPPI***Programma d'esame*

- 1) Il concetto di costruzione e di struttura - strutture spaziali, bidimensionali, piane composte da aste. Libertà di movimento e vincoli. Strutture ipostatiche isostatiche ed iperstatiche, casi anomali, l'analisi cinematica per via grafica e per via algebrica.
- 2) Le operazioni sulle forze. Il calcolo di reazioni vincolari e di azioni interne di strutture isostatiche. Le travature reticolari.
- 3) La statica dei continui deformabili - Il vettore spostamento, il tensore di deformazione, deformazioni infinitesime, condizioni di congruenza, condizioni al contorno - Componenti principali di deformazione. Il cerchio di Mohr delle deformazioni. Il tensore degli sforzi, le condizioni indefinite ed al contorno di equilibrio - Le componenti principali di sforzo - Il cerchio di Mohr degli sforzi. Il legame sforzi-deformazioni, lavoro di deformazione ed energia elastica. Materiali elastici lineari omogenei ed isotropi.
- 4) Il problema di de St.Venant - L'azione assiale, la flessione, la torsione, la trattazione approssimata della flessione composta, la trattazione approssimata della torsione nei profili sottili aperti e molteciplemente connessi.
- 5) Soluzioni di problemi elastici in stato di sforzo o di deformazione piano, elementi di analisi elastica di tubazioni e serbatoi cilindrici.
- 6) Materiali elasto-plastici: l'azione assiale e la flessione elasto-plastiche - Lo stato limite - Cenni al problema della flessione in cemento armato e cemento armato precompresso.
- 7) Il calcolo degli spostamenti elastici. La teoria della linea elastica, il principio dei lavori virtuali.
- 8) Analisi tenso-deformativa delle strutture elastiche iperstatiche, il metodo delle forze e il metodo delle deformazioni, stati di autotensione dovuti a distorsioni ed a variazioni di temperatura.
- 9) Il lavoro di deformazione; teoremi di Clapeyron, di Maxwell, Betti, Castigliano, Menabrea. La stazionarietà dell'energia potenziale totale.
- 10) La stabilità dell'equilibrio elastico con riferimento a casi elementari. Aspetti energetici. La trattazione di Eulero delle aste sottili caricate di punta.
- 11) La verifica della sicurezza - I criteri di verifica puntuale.

*Esercitazioni*

Durante le esercitazioni saranno sviluppati esercizi completi per ogni argomento trattato. Al termine della trattazione di ogni argomento gli allievi saranno invitati a svolgere esercizi riassuntivi.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale.

*Libri consigliati*

*Lezioni di Scienza delle Costruzioni* a cura del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, ed. CLUP - Milano  
L. Corradi dell'Acqua: *Meccanica delle Costruzioni*, vol. 1,2 - McGraw-Hill Libri Italia, Milano.

O. Belluzzi: *Scienza delle Costruzioni*, vol. I, II, III, ed. Zanichelli - Bologna

M. Capurso: *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, ed. Pitagora - Bologna

R. Baldacci: *Scienza delle Costruzioni*, Voi. I, Unione Tip. Ed. Torinese

A. Castiglioni, V. Pettini, C. Urbano: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, ed. Masson Italia Editori, Milano

A. Zavelani-Rossi: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni - Sistemi di aste* - ed. CLUP Milano.

A. Zavelani-Rossi: *Problemi di Scienza delle Costruzioni - Sistemi elastici di travi* - ed. CLUP, Milano.

A. Zavelani-Rossi: *Problemi di Scienza delle Costruzioni - Cinematica e statica* - ed. CLUP, Milano.

## **SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

**AN0023**

(per gli allievi di Ingegneria Civile)

**Prof. Leone CORRADI DELL'ACQUA**

### *Programma d'esame*

#### **1. Il problema strutturale.**

Calcolo della risposta strutturale e della capacità portante. Le leggi fondamentali: equilibrio, congruenza, legami costitutivi. Cenni storici sull'evoluzione della disciplina.

#### **2. Le strutture monodimensionali piane.**

Vincoli: aspetti statici e cinematici. Azioni interne. Le travi isostatiche e il calcolo delle loro azioni interne. Strutture reticolari.

#### **3. Statica e cinematica dei solidi.**

Stati di sforzo e di deformazione omogenei. Lo stato di sforzo: definizione, tensioni e direzioni principali, stati di sforzo piani, diagramma di Mohr. Le condizioni di equilibrio. Cinematica di un atto di moto. Il principio delle potenze virtuali. Deformazioni finite (cenni). L'ipotesi di piccoli spostamenti. Il tensore delle piccole deformazioni. Condizioni di congruenza interna.

#### **4.1 legami costitutivi.**

Comportamenti fondamentali; elastico, plastico, viscoso. Il legame elastico. Il caso lineare e isotropo. Deformazioni termiche. Il limite elastico. Rottura fragile e snervamento. Cenni ai principali modelli anelastici.

#### **5. Il problema elastico-lineare.**

Formulazione e proprietà. Metodi risolutivi inversi e semi-inversi. Sovrapposizione degli effetti. Il principio di equivalenza elastica. Aspetti energetici del comportamento elastico: energie potenziale e complementare: teoremi di Clapeyron, Betti e Castigliano.

#### **6. Il problema di De Saint Venant.**

Impostazione del problema. I casi fondamentali: azioni assiale e flettenti, torsione, flessione con taglio costante (trattazione approssimata). Applicazione al calcolo delle travi.

#### **7. La teoria della trave.**

Modello cinematico e sue implicazioni. La trave elastica. L'equazione della linea elastica. Le equazioni di Muller-Breslau. Applicazioni dei teoremi energetici alla soluzione di travi elastiche.

#### **8. Stabilità di aste compresse.**

Influenza delle deformazioni sull'equilibrio e limiti dell'ipotesi di piccoli spostamenti. L'equazione della linea elastica per travi presso-inflesse. Perdita di stabilità di aste compresse. Cenni ad altri fenomeni di instabilità elastica.

### *Esercitazioni*

Durante le esercitazioni verranno sviluppati e discussi esercizi di applicazione degli argomenti trattati a lezione; gli allievi saranno seguiti nello sviluppo di altri esercizi simili.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale preceduta da una prova scritta. Le due prove devono essere sostenute nel medesimo appello.

*Libri consigliati*

L. Corradi Dell'Acqua: *Meccanica delle strutture*, vol. I e II, McGraw-Hill, Milano.

A. Castiglioni, V. Petrini, C. Urbano: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, Masson Italia, Milano.

E. Viola: *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, vol. I e II, Pitagora, Bologna

Potranno anche essere utilmente consultati i testi

*Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, a cura del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, CLUP - Milano.

M. Capurso: *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Pitagora - Bologna.

O. Belluzzi: *Scienza delle Costruzioni*, Zanichelli - Bologna.

A. Zavelani-Rossi: *Problemi di Scienza delle Costruzioni*, CLUP, Milano.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI****AN0023**

(per gli allievi in Ingegneria Edile)

**Prof. Carlo URBANO**

*Programma d'esame*

- 1. Strutture monodimensionali piane:** libertà di movimento e vincoli; strutture isostatiche ed iperstatiche; casi anomali.
- 2. Strutture isostatiche:** determinazione delle reazioni dei vincoli e delle azioni interne; le strutture reticolari.
- 3. Statica dei continui deformabili:** stati di sforzo e di deformazione; condizioni di equilibrio e di congruenza; legame sforzi-deformazioni; lavoro di deformazione ed energia elastica; corpi isotropi ed omogenei.
- 4. Il problema di De Saint Venant:** azione assiale; flessione, torsione; flessione composta: combinazioni.
- 5. Il postulato di De Saint Venant** e le sue conseguenze nelle applicazioni tecniche.
- 6. Il calcolo degli spostamenti:** teoria della curva elastica per le travi inflesse; il principio dei lavori virtuali.
- 7. Strutture iperstatiche;** calcolo delle reazioni dei vincoli con il metodo delle forze e con il metodo delle deformazioni; influenza di cedimenti di vincolo e di variazioni di temperatura.
- 8. Il lavoro di deformazione:** teoremi di Clayperon, Betti, Maxwell, Castigliano, Menabrea e teorema della stazionarietà dell'energia potenziale totale.
- 9. Le linee di influenza.**
- 10. La verifica della resistenza.**
- 11. La stabilità deU'equilibrio elastico.**
- 12. Sistemi non perfettamente elastici:** cenni sul comportamento di strutture elastoplastiche ed elasto-viscose.

*Esercitazioni*

Parallelamente al corso si svolgeranno le esercitazioni: alla lavagna, dai docenti, verranno sviluppati esercizi completi; gli allievi saranno invitati a sviluppare altri simili.

*Libri consigliati*

*Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, a cura del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, ed. CLUP - Milano.

A. Danusso: *Scienza delle Costruzioni*, ed. Tamburini, Milano.

O. Belluzzi: *Scienza delle Costruzioni*, voi. I, ed. Zanichelli, Bologna.

M. Capurso: *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, ed. Zanichelli, Bologna.

A. Castiglioni, V. Petrini, C. Urbano: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, ed. Masson Italia Editori, Milano.

L. Corradi Dell'Acqua: *Meccanica delle Strutture*, McGraw-Hill Italia, Milano.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI****AN0021**

(per allievi dei Corsi di Laurea in Ingegneria Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni)

**Prof.ssa Maria Adelaide PARISI**

*Programma d'esame***Problemi generali**

Le finalità della scienza delle Costruzioni e il suo ambito di applicabilità

**Richiami di meccanica**

Il punto mobile, condizioni di vincolo, statica del corpo rigido, spostamento

**Statica delle travi e dei sistemi piani di travi**

Analisi cinematica: gradi di libertà, vincoli, strutture isostatiche, iperstatiche, labilità; condizioni di equilibrio, calcolo delle reazioni vincolari e delle azioni interne delle strutture isostatiche; equazioni indefinite di equilibrio per le travi; travature reticolari

**Statica dei continui deformabili**

Analisi e rappresentazione dello stato di sforzo e di deformazione; equazioni indefinite di equilibrio e di compatibilità interna; stato di sforzo piano e cerchio di Mohr. Legame sforzi-deformazioni nei corpi elastici; potenziale elastico, lavoro di deformazione, costanti elastiche

**Geometria delle aree**

Caratteristiche geometriche della sezione di una trave connesse con l'estensione, la forma, l'orientamento

**Studio delle travi deformabili**

Principio di de St. Vénant e sue applicazioni tecniche; trazione e compressione semplice; flessione retta e deviata; pressoflessione e tensoflessione; torsione di travi a sezione piena e in parete sottile; trattazione approssimata della flessione composta con taglio

**Metodi di calcolo degli spostamenti e di determinazione delle iperstatiche**

Equazione differenziale della linea elastica; teoremi energetici (teoremi di Clapeyron, di Maxwell-Betti, di Castigliano, principio del minimo lavoro di deformazione), principio dei lavori virtuali.

Influenza di cedimenti vincolari e di variazioni termiche

**Verifica della resistenza**

Comportamento sperimentale dei materiali, sforzi ammissibili, coefficiente di sicurezza. Criteri di Galileo-Rankine, di de St. Vénant-Grashof, di Guest-Tresca, di Beltrami, di von Mises, di Mohr.

**Stabilità deirequilibrio elastico**

L'asta di Eulero e la determinazione del carico critico per differenti condizioni di vincolo. Limiti di validità della formula di Eulero.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale

*Esercitazioni*

Durante le esercitazioni verranno sviluppati e discussi esercizi ed applicazioni degli argomenti trattati a lezione.

*Libri consigliati*

coprono, ciascuno, l'intero programma, i testi:

M. Capurso, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Ed. Pitagora, Bologna

AA. W. *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, a cura del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, CLUP di riferimento per approfondimenti:

L. Corradi dell'Acqua, *Meccanica delle Strutture*, McGraw-Hill

esercenziario:

A. Castiglioni, V. Petrini, C. Urbano, *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, Ed. Masson

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI****AN0021**

(per gli allievi di Ingegneria Elettrica)

**Prof. Osvaldo DE DONATO**

*Programma d'esame*

**1.1 problemi, i principi ed i procedimenti generali.** Le ipotesi di base e le approssimazioni della Scienza delle Costruzioni.

**2.1 sistemi piani di travi.** Le libertà di movimento - i vincoli - le travature isostatiche ed iperstatiche; i casi anomali.

**3. Strutture isostatiche.** Determinazione delle reazioni dei vincoli e delle azioni interne. Le strutture reticolari.

**4. La geometria delle masse.**

**5. Statica dei continui deformabili.** Stato di sforzo e di deformazione: condizioni di equilibrio e di congruenza. Legame sforzi- deformazioni; potenziale elastico: corpi isotropi ed omogenei.

**6. Il problema di De Saint Venant.** Azione assiale, flessione; torsione di prismi con sezione di forma circolare e non circolare e a profilo sottile aperto e chiuso; trattazione approssimata della flessione composta.

**7. Il postulato di De Saint Venant** e le sue conseguenze nelle applicazioni tecniche.

**8. Il calcolo degli spostamenti.** Teoria della curva elastica per le travi inflesse. Il principio dei lavori virtuali; applicazione al calcolo degli spostamenti elastici ed anelastici.

**9. Strutture iperstatiche.** Calcolo delle reazioni dei vincoli con il metodo delle forze e con il metodo delle deformazioni. Influenze di cedimenti di vincoli e di variazioni di temperatura.

**10. Il lavoro di deformazione.** Teoremi di Clayperon, Betti, Maxwell. Coefficienti di influenza. Teoremi di Castigliano e Menabrea. Teorema dell'energia potenziale totale.

**11. La verifica di resistenza.**

**12. La stabilità deirequilibrio elastico.** Il caso delle aste sottili caricate di punta: criterio statico, criterio energetico.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni, che sono parte essenziale del corso, avranno lo scopo di promuovere la partecipazione attiva degli allievi alla soluzione di problemi concreti della disciplina.

*Modalità d'esame*

L'esame orale sarà preceduto dallo svolgimento di un esercizio scritto.

*Libri consigliati*

*Lezioni di Scienza delle Costruzioni* a cura del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, ed. CLUP - Milano.  
 L. Corradi dell'Acqua: *Meccanica delle strutture*, Voi. I, II, III, McGraw Hill.  
 A. Castiglioni, V. Petrini, C. Urbano: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, ed. Masson Italia Editori - Milano.  
 F. Genna: *Temi d'esame di Scienza delle costruzioni*, Progetto Leonardo - Soc. Ed. Esculapio, 1993, Bologna.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI****AN0021**

(per allievi di Ingegneria Gestionale)

**Proff. Alberto FRANCHI, Alfonso NAPPI***Programma d'esame***1. Statica dei continui deformabili:**

1.1 Stato di sforzo: vettore sforzo e tensore sforzo di Cauchy, equazioni di Cauchy, notazione vettoriale, tensoriale e matriciale. Equazioni indefinite di equilibrio. Variazione del tensore sforzo con il sistema di riferimento. Tensioni e direzioni principali. Stato di sforzo piano. Circolo di Mohr.

1.2 Stato di deformazione: vettore spostamento, tensore derivato del vettore spostamento, tensore della rotazione rigida e tensore di deformazione. Vettore di deformazione in una direzione; deformazioni principali e direzioni principali di deformazione, stato piano di deformazione, circolo di Mohr del vettore di deformazione. La misura delle deformazioni con estensimetri.

1.3 Il legame costitutivo: aspetti generali, il modello elastico lineare, il potenziale elastico, le costanti elastiche nel caso di corpo isotropo, limiti teorici delle costanti elastiche.

1.4 Esistenza ed unicità di soluzione del problema elastico, il principio di sovrapposizione degli effetti.

1.5 Il Principio degli spostamenti virtuali.

**2. Il problema di De Saint Venant:**

2.1 Azione assiale

2.2 Azione flettente; flessione deviata, vettore momento flettente, asse di sollecitazione, momenti secondo un sistema di riferimento cartesiano ortogonale, calcolo della posizione dell'asse neutro, calcolo della tensione normale. Equazione della linea elastica.

2.3 Torsione: formulazione generale, sezione ellittica, sezione circolare; analogia della membrana e idrodinamica, la sezione rettangolare allungata, i profili sottili aperti, i profili sottili chiusi.

2.4 Taglio: trattazione approssimata, il centro di taglio.

**3. Il calcolo degli spostamenti in strutture isostatiche:**

3.1 il metodo della linea elastica per le travi inflesse;

3.2 applicazione del principio degli spostamenti virtuali.

**4. Strutture iperstatiche:**

4.1 calcolo delle incognite iperstatiche con il principio dei lavori virtuali; influenza di cedimenti di vincolo e di variazioni di temperatura.

4.2 calcolo delle incognite iperstatiche mediante il metodo della linea elastica.

**5.1 teoremi energetici e metodi di calcolo**

5.1 Minimo Energia Complementare Totale: teoremi di Castigliano, Menabrea .

5.2 Minimo Energia Potenziale Totale: applicazioni ai sistemi discreti.

**6. La stabilità deirequilibrio elastico**

6.1 I sistemi discreti : punto di biforcazione dell'equilibrio elastico; carico critico, deformata critica;

6.2 L'asta di Eulero .

**7. La verifica di resistenza**

I criteri di resistenza di Mises, Tresca, Galileo, Mohr-Coulomb nella verifica di sicurezza degli elementi strutturali.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni si svolgono in stretta coordinazione con gli argomenti delle lezioni ed hanno lo scopo di proporre all'allievo la metodologia più efficace per affrontare casi strutturali elementari.

*Libri consigliati*

A. Franchi, F. Gennai *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Società Editrice Esculapio s.r.l.

M. Capurso: *Scienza delle Costruzioni*, ed. Pitagora, Bologna

*Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, a cura del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, ed. CLUP - Milano.

O. Belluzzi: *Scienza delle Costruzioni*, ed. Zanichelli, Bologna

L. Corradi: *Meccanica delle Strutture*, McGraw-Hill Italia, Milano.

V. Franciosi: *Scienza delle Costruzioni*, ed. Liguori, Napoli.

A. Castigliani, V. Petrini, C. Urbano: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, ed. Masson Italia Editori, Milano.

*Nota:*

Programmi più dettagliati sono disponibili presso la Segreteria Studenti del Dipartimento di Ingegneria Strutturale.

**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

(per gli allievi di Ingegneria Meccanica)

**Proff. Vincenzo PETRINI. Alberto TALIERCIO**

**AN0021**

*Programma d'esame*

**1. Principi generali di meccanica dei solidi e delle strutture:** costruzioni, strutture e materiali; tipologie strutturali, comportamento meccanico e modellazione; problemi di analisi e di progetto.

**2. Strutture monodimensionali piane:** gradi di libertà e gradi di vincolo; strutture isostatiche e iperstatiche; casi anomali.

**3. Strutture isostatiche:** determinazione delle reazioni dei vincoli e delle azioni interne; sistemi reticolari.

**4. Statica dei continui deformabili:** stato di sforzo e stato di deformazione; condizioni di equilibrio e condizioni di congruenza; principio dei lavori virtuali; legame sforzi-deformazioni; lavoro di deformazione ed energia elastica; corpi isotropi ed omogenei.

**5. Il problema di De Saint Venant:** azione assiale; flessione; torsione; flessione composta.

**6. Il calcolo degli spostamenti:** teoria della curva elastica per le travi inflesse; applicazione del principio dei lavori virtuali.

**7. Strutture iperstatiche:** calcolo delle reazioni dei vincoli con il metodo delle forze e con il metodo degli spostamenti; influenza di cedimenti di vincolo e di variazioni di temperatura.

**8. Il lavoro di deformazione:** teoremi di Clayperon, Betti, Maxwell, Castigliano, Menabrea e teorema della stazionarietà dell'energia potenziale totale. Applicazione al calcolo di spostamenti elastici, alla determinazione di reazioni iperstatiche ed al tracciamento di linee di influenza.

Introduzione al metodo degli elementi finiti.

**9. La verifica della resistenza:** criteri di resistenza derivati dalle principali condizioni di plasticità o di rottura; nozione di resistenza e di sicurezza.

**10. La stabilità deirequilibrio elastico:** metodo geometrico e metodo energetico; instabilità di un'asta compressa in diverse condizioni di vincolo; instabilità di sistemi semplici.

**11. Estensioni di formulazioni e metodi:** rassegna di problemi di strutture e materiali in campo statico, dinamico, lineare e nonlineare. Introduzione al metodo degli elementi finiti.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni si svolgono in stretta coordinazione con gli argomenti delle lezioni ed hanno lo scopo di proporre all'allievo la metodologia più efficace per affrontare casi strutturali elementari.

### *Libri consigliati*

L. Corradi: *Meccanica delle Strutture*, ed. Me Graw-Hill Italia, Milano.

AA. VV.: *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, a cura del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, ed. CittàStudi - Milano.

M. Capurso: *Scienza delle Costruzioni*, ed. Pitagora, Bologna.

A.P. Boresi, K.P. Chong: *Elasticity in Engineering Mechanics*, ed. Elsevier, New York.

L. E. Malvern: *Introduction to the Mechanics of a Continuous Medium*, ed. Prentice-Hall, New Jersey.

A. Castiglioni, V. Petrini, C. Urbano: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, ed. Masson Italia Editori, Milano.

A. Zavelani Rossi: *Problemi di Scienza delle Costruzioni*, ed. Città Studi, Milano.

E. Viola: *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni*, ed. Pitagora, Bologna.

## **SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

**AN0021**

(per allievi di Ingegneria Nucleare e delle Telecomunicazioni)

**Prof. Giannantonio SACCHI LANDRIANI**

### *Programma d'esame*

- 1) Concetto di costruzione e definizione di struttura. Strutture spaziali, bidimensionali, piane composte da aste. Libertà di movimento e vincoli. Strutture ipostatiche isostatiche ed iperstatiche, casi anomali, l'analisi cinematica per via grafica e per via algebrica.
- 2) Le operazioni sulle forze. Il calcolo di reazioni vincolari e di azioni interne di strutture isostatiche. Le travature reticolari.
- 3) La statica dei continui deformabili - Il vettore spostamento, il tensore di deformazione, deformazioni infinitesime, condizioni di congruenza, condizioni al contorno - Componenti principali di deformazione. Il cerchio di Mohr delle deformazioni. Il tensore degli sforzi, le condizioni indefinite ed al contorno di equilibrio - Le componenti principali di sforzo - Il cerchio di Mohr degli sforzi. Il legame sforzi-deformazioni - Materiali elastici lineari omogenei ed isotropi, materiali fragili, materiali elasto-plastici.

- 4) Soluzioni di problemi elastici in stato di sforzo o di deformazione piano. Il problema di de St. Venant - L'azione assiale, la flessione, la torsione, la trattazione approssimata della flessione composta, la trattazione approssimata della torsione nei profili sottili aperti.
- 5) Soluzioni di problemi elasto-plastici: l'azione assiale e la flessione elasto-plastiche - Lo stato limite - Cenni al problema della flessione in cemento armato e cemento armato precompresso.
- 6) Il calcolo degli spostamenti elastici. La teoria della linea elastica, il principio dei lavori virtuali.
- 7) Analisi tenso-deformativa delle strutture elastiche iperstatiche, il metodo delle forze e il metodo delle deformazioni, stati di autotensione dovuti a distorsioni ed a variazioni di temperatura. Elementi di analisi elastica di tubazioni e serbatoi cilindrici.
- 8) Aspetti energetici dei fenomeni elastici - Il lavoro di deformazione; teoremi di Clapeyron, di Maxwell, Betti, Castigliano, Menabrea. La stazionarietà dell'energia potenziale totale.
- 9) La verifica della sicurezza - I criteri di verifica puntuale.
- 10) Lo stato limite plastico delle strutture. I teoremi fondamentali dell'analisi limite. Il calcolo del moltiplicatore di collasso con metodo statico e metodo cinematico.
- 11) La stabilità dell'equilibrio elastico con riferimento a casi elementari. Aspetti energetici. La trattazione di Eulero delle aste sottili caricate di punta.

#### *Esercitazioni*

Durante le esercitazioni saranno sviluppati esercizi completi per ogni argomento trattato. Al termine della trattazione di ogni argomento gli allievi saranno invitati a svolgere esercizi riassuntivi.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale.

#### *Libri consigliati*

L. Corradi dell'Acqua: *Meccanica delle Costruzioni*, voli. I,II - McGraw-Hill Libri Italia, Milano.

M. Capurso: *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, ed. Pitagora - Bologna

R. Baldacci: *Scienza delle Costruzioni*, Voi. I, Unione Tip. Ed. Torinese

*Lezioni di Scienza delle Costruzioni* a cura del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, ed. CLUP - Milano

O. Belluzzi: *Scienza delle Costruzioni*, voli. I, II, III, ed. Zanichelli - Bologna

A. Castiglioni, V. Petrini, C. Urbano: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni*, ed. Masson Italia Editori, Milano

A. Zavelani-Rossi: *Esercizi di Scienza delle Costruzioni* - Sistemi di aste - ed. CLUP Milano.

A. Zavelani-Rossi: *Problemi di Scienza delle Costruzioni* - Sistemi elastici di travi - ed. CLUP, Milano.

A. Zavelani-Rossi: *Problemi di Scienza delle Costruzioni* - Cinematica e statica - ed. CLUP, Milano.

## **SCIENZA DELLE COSTRUZIONI II**

**AN0014**

**Prof. Giulio MAIER**

#### *Programma d'esame*

Parte prima: **Calcolo per elementi finiti delle strutture in campo elastico-lineare.**

1. Formulazioni del problema elastico-lineare negli spostamenti (Navier) e nelle tensioni (Beltrami).
2. Fondamenti dei metodi risolutivi: i teoremi degli spostamenti virtuali e delle forze virtuali, dell'energia potenziale e dell'energia complementare; corollari ed applicazioni; il metodo di Ritz-Rayleigh per approcci negli spostamenti e negli sforzi.

3. Lineamenti generali del metodo degli elementi finiti negli spostamenti: suddivisione, modellazione; matrici di rigidezza e di inerzia e vettori di carichi "equivalenti"; assemblaggio; risoluzione; condizioni e controlli di convergenza; pre- e post-processor; decomposizione in sottostrutture.
4. Argomenti vari sui metodi per elementi finiti: problemi a potenziale (torsione di Saint-Venant, membrane tese, trasmissione del calore, moti di filtrazione, ecc.); per residui pesati e alla Galerkin; integrazioni numeriche; elementi isoparametrici; elementi infiniti.
5. Calcolo per elementi finiti di telai e di sistemi piani nelle tensioni e nelle deformazioni. Modellazione di travi alla Timoshenko.
6. Analisi dei solidi tridimensionali: vari tipi di elementi finiti. Solidi di rivoluzione con azioni esterne assialsimmetriche e generiche: decomposizione e riduzione al piano meridiano con sviluppi di Fourier.
7. Calcolo delle piastre inflesse: piastre "sottili" (di Kirchhoff) e "spesse" (di Mindlin); vari elementi finiti, conformi e non conformi.
8. Fondamenti dell'analisi per elementi finiti di strutture a guscio.

Parte seconda: **Introduzione al metodo degli elementi di contorno.**

1. Formulazione del problema elastico lineare con l'equazione integrale di Somigliana: nuclei di Kelvin e singolarità, integrazioni, risoluzione.
2. Varie fasi del metodo risolutivo per "boundary elements". Estensione a domini eterogenei e a problemi a potenziale.

Parte terza: **Calcolo dei sistemi di travi in campo plastico.**

1. Idealizzazioni della deformabilità locale anelastica: comportamenti dei materiali in regime monoassiale; flessione e pressoflessione in elastoplasticità ideale; domini di resistenza per sezioni di travi.
2. Fondamenti del calcolo a rottura per collasso plastico: i teoremi statico e cinematico, interpretazioni e corollari.
3. Metodi di calcolo a rottura per sistemi di travi: procedimenti "manuali" per delimitazione bilaterale; metodi di programmazione lineare: nozioni fondamentali, formulazioni statica e cinematica.
4. Argomenti vari di plasticità strutturale: stima delle deformazioni a collasso incipiente; introduzione alla teoria dell'adattamento: il teorema di Melan; cenni sul progetto di minimo peso a rottura.

Parte quarta: **Fondamenti di meccanica della frattura.**

1. Generalità sulle fenomenologie di frattura e fatica.
2. Frattura in elasticità lineare: approccio energetico; campi di spostamenti e tensioni presso l'apice di una fessura; fattori di intensità.
3. Verifiche a fatica: curve S-N, legge di Miner; propagazione di difetti, legge di Paris.
4. Metodi numerici, in particolare agli elementi finiti, in meccanica della frattura: nozioni introduttive.

#### *Esercitazioni*

Nel corso delle esercitazioni vengono trattati argomenti complementari e svolte applicazioni sia illustrative-concettuali, sia numeriche con riferimento a problemi concreti e orientati all'uso dei calcolatori.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta preliminare (che verte su problemi da risolvere e domande anche di carattere teorico) ed in una successiva prova orale.

*Libri consigliati*

- D. Broek: *Elementary Engineering Fracture Mechanics*, III edizione, Martinus Nijhoff, 1982.
- M.Z. Cohn e G. Maier, Eds.: *Engineering Plasticity by Mathematical Programming*, Pergamon Press, 1979.
- J.N. Reddy: *Finite Element Methods*, II ed., McGraw-Hill, 1993.
- A.A. Becker: *The Boundary Element Method in Engineering*, McGraw-Hill, 1992.
- L. Corradi: *Meccanica delle strutture*, Voi. 2, McGraw-Hill, 1993.
- S. Kaliszky: *Plasticity: Theory and Engineering Applications*, Isevier, 1989.
- V. Franciosi: *Calcolo a Rottura*, Liguori, 1986
- C. Massonet e M. Save: *Calcolo plastico a rottura delle costruzioni*, CLUP, Milano, 1980.
- C. Ceccoli e P. Pozzati: *Teoria e tecnica delle strutture*, Voi. Ili - Sistemi di travi: interpretazioni del collasso -, UTET, 1987.
- W. Prager: *Introduzione alla plasticità*, ETAS-KOMPAS, 1968.
- O. Zienkiewicz, R.L. Taylor: *The Finite Element Method*, IV edizione, I Volume, McGraw-Hill, 1989.

**SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI****000856**

(orientamento energetico-idrocarburi)

**Prof. Luciano LAZZARI**

Questo é il corso che soddisfa all'obbligo di statuto, relativo ai Materiali, per gli allievi ingegneri chimici dell'orientamento energetico-idrocarburi. In quanto tale si differenzia dal corso obbligatorio per tutti gli altri allievi ingegneri chimici, poiché la parte speciale del suo programma é incentrata sui materiali metallici con cui sono costruite le linee di trasporto di idrocarburi, liquidi e gassosi, sul loro comportamento in esercizio e sulla loro compatibilità ambientale e quindi, rovesciando i termini, sui criteri che consentono di sceglierli correttamente sotto il profilo tecnico ed economico.

*Programma d'esame***Problematiche relative ai materiali utilizzati nel settore petrolifero.**

**Caratterizzazione dei materiali e metodi di misura delle loro proprietà.** Risposta dei materiali alle sollecitazioni meccaniche, rottura duttile e fragile, fatica, scorrimento viscoso, invecchiamento, usura. Le prove meccaniche di trazione, durezza, fatica e resilienza e il significato delle grandezze ricavabili. Le prove tecnologiche.

**Materiali metallici.** Struttura cristallina. Difetti puntiformi e lineari. Fenomeni di diffusione. Meccanismi di rafforzamento. Deformazione elastica e plastica. Struttura delle leghe. Diagrammi di stato. Diagramma ferro-carbonio. Gli acciai: velocità di raffreddamento e trasformazioni di fase; le curve isoterme; i trattamenti termici di ricottura, tempra, normalizzazione, rinvenimento; i trattamenti termochimici e termomeccanici. Caratteristiche principali dei materiali di maggior interesse nel campo petrolifero. Acciai di uso generale e speciali, acciai inossidabili, leghe di nichel, leghe di rame, alluminio, zinco e loro leghe. Metodi di produzione, lavorazione e finitura.

**Materiali cementizi.** Cemento Portland. Struttura porosa della pasta di cemento e i suoi effetti sulla resistenza meccanica, permeabilità e stabilità dimensionale. I cementi di miscela. Calcestruzzi: aggregati, additivi, lavorabilità, segregazione, bleeding, proprietà meccaniche, ritiro igrometrico, scorrimento viscoso, mix design. Calcestruzzi utilizzati nel settore petrolifero.

**Materiali ceramici.** Argille. Processi di produzione. Materiali a pasta porosa e compatta, struttura, proprietà. Refrattari.

**Materiali vetrosi.** Composizione, struttura e proprietà.

**Materiali polimerici.** Reazioni di polimerizzazione. Cristallinità e transizioni di fase. Proprietà meccaniche e viscoelasticità. Tecnologia di produzione e di lavorazione. Proprietà e applicazione dei principali tipi impiegati nel settore petrolifero.

**Materiali compositi.** Struttura e proprietà tipologica. Applicazioni. Tubazioni flessibili.

**Degrado dei materiali.** Corrosione dei materiali metallici. Aspetti termodinamici e cinetici; passività; accoppiamenti galvanici, fattori relativi al metallo e all'ambiente, forme di attacco localizzato. Corrosione delle strutture metalliche esposte all'atmosfera o a contatto con acque o terreni. La corrosione biologica. Il degrado delle strutture in cemento armato. Problemi di corrosione nell'industria petrolifera. Corrosione in presenza di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S. Infragilimento da idrogeno. Corrosione in presenza di sforzi costanti e variabili nel tempo. Corrosione erosione. Comportamento corrosionistico dei principali materiali utilizzati nell'industria petrolifera.

**Prevenzione del degrado.** Prove di corrosione. Metodi di monitoraggio e di ispezione per il controllo delle caratteristiche dei materiali in esercizio. Metodi di prevenzione e di protezione. Interventi su materiali e sull'ambiente. Inibitori. Rivestimenti protettivi (organici, cementizi e metallici). Protezione catodica. Protezione anodica. Protezione di serbatoi e strutture metalliche ed in cemento armato operanti in atmosfera, delle tubazioni interrato e delle strutture marine. Interventi di manutenzione.

**Scelta dei materiali.** Affidabilità e analisi del rischio. Considerazioni economiche ed ecologiche. Analisi decisionale per la scelta dei materiali e dei metodi di protezione nel settore petrolifero.

#### *Esercitazioni.*

Esercitazioni sperimentali sulle proprietà dei materiali. Esercizi numerici sui vari argomenti. Discussione di esempi tipici di applicazione dei materiali nel settore petrolifero.

#### *Modalità d'esame.*

L'esame consisterà in una prova orale sugli argomenti del programma.

#### *Libri consigliati*

A. Cigada ( a cura di ): *Struttura e proprietà dei materiali metallici*, Ed. CittàStudi, Milano.

P. Pedferri, L. Bertolini: *La corrosione nel calcestruzzo e negli ambienti naturali*, Ed. McGraw-Hill.

Per le parti non coperte dai volumi sopra citati saranno fornite delle dispense.

## **SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI**

**AE0100**

**Prof. Fabio BOLZONI**

#### *Programma d'esame*

**Struttura delle principali classi di materiali:** metallici, polimerici, ceramici. Correlazione tra struttura e principali proprietà fisiche, meccaniche ed elettriche.

**Comportamento dei materiali alle sollecitazioni statiche e dinamiche:** rottura duttile e rottura fragile; comportamento alle sollecitazioni cicliche, resistenza a fatica; comportamento ad elevata temperatura, scorrimento viscoso a caldo; comportamento in presenza di difetti, meccanica della frattura. Tecniche di valutazione e previsione della resistenza di strutture e componenti. Prove meccaniche: trazione, durezza, fatica, resilienza; prove di scorrimento viscoso; prove di meccanica della frattura.

**Tecniche di controllo ed indagine sui materiali:** microscopia ottica ed elettronica, spettroscopia, controlli non distruttivi.

**Materiali metallici.** Struttura cristallina, difetti di punto, di linea e di superficie. Leghe metalliche e diagrammi di stato. Cenni sui metodi di produzione e lavorazione dei materiali metallici. Trattamenti termici, termomeccanici e termochimici. Principali classi di materiali metallici. Acciai di uso generale, speciali, inossidabili, da utensili; leghe per alta temperatura; ghise; rame, alluminio, titanio e loro leghe.

**Materiali polimerici.** Reazioni di polimerizzazione, peso molecolare. Configurazione e conformazione. Cristallinità e transizioni di fase. Proprietà meccaniche, viscoelasticità. Tecnologia di produzione e di lavorazione. Proprietà ed applicazioni dei principali tipi di materiali polimerici.

**Materiali ceramici.** Struttura. Metodi di produzione. Materiali ceramici tradizionali e avanzati. Vetri.

**Materiali compositi.** Compositi a singolo strato, multistrato e interpenetrati. Criteri di progettazione dei materiali compositi. Tecnologia di produzione e lavorazione.

**Leganti.** Leganti aerei e idraulici. Cemento Portland. Cementi di miscela. Il calcestruzzo: presa, indurimento, stagionatura. Proprietà del calcestruzzo indurito: proprietà meccaniche, fessurazione. Cenni al mix design.

**Corrosione e degradazione dei materiali.** Termodinamica e cinetica dei processi corrosivi. Forme di corrosione localizzata: intergranulare, per vaiolatura, in fessura. Corrosione sotto sforzo, corrosione-fatica. Infragilimento da idrogeno. Metodi di protezione: protezione elettrica, rivestimenti metallici, pitture, inibitori, prevenzione in sede di progetto. Corrosione e protezione delle strutture metalliche e in cemento armato negli ambienti naturali. Fenomeni di degradazione dei materiali polimerici, ceramici e compositi.

**Ciclo di vita dei materiali:** produzione, consumo, smaltimento, riciclo, riutilizzo; impatto energetico e ambientale. Cenni alle metodologie di valutazione: costo energetico.

**Criteri di scelta tecnico-economica dei materiali.** Metodi deterministici e statistici. Analisi decisionale applicata alla valutazione del rischio. Metodo Montecarlo.

#### *Esercitazioni*

Nel corso delle esercitazioni verrà svolto un approfondimento sul piano applicativo di alcune tematiche trattate nel corso delle lezioni. Verranno se possibile anche organizzate alcune visite ad impianti e laboratori industriali.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta ed una prova orale.

#### *Libri consigliati*

A. Cigada: *Struttura e proprietà dei materiali metallici*, CittàStudi, 1993

L. Bertolini, P. Pedferri, *Tecnologia dei materiali: leganti e calcestruzzo*, CittàStudi, 1996

Verranno fornite dispense per le parti del programma non coperte dai libri

**SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI AERONAUTICI E AEROSPAZIALI AF0112**  
**Prof. Luca DI LANDRO***Programma d'esame*Elementi di struttura dello stato solido cristallino

Tipi di legame nei solidi (covalente, ionico, metallico, dipolare). Legame chimico e proprietà fisiche. Caratteristiche geo-metriche dei reticoli cristallini con particolare riferimento a quelli cubici e esagonale (punti, direzioni e piani). Indici di Miller. Piani a elevata densità atomica. Vuoti reticolari. Transizioni di fase. Concetto di energia libera. Nucleazione omogenea e eterogenea. Velocità di nucleazione e sottoraffreddamento. Monocristalli e solidi policristallini. Dimensioni del grano. Strutture dendritiche. Crescita planare e dendritica. Tempo di solidificazione. Ritiro volumetrico.

Le soluzioni solide. Soluzioni solide sostituzionali: fattori che ne controllano la formazione. Super reticoli. Transizione ordine-disordine. Soluzioni solide interstiziali. Distorsioni reticolari. Composti intermetallici. Effetto della loro presenza nelle leghe (con particolare riferimento alle leghe di Fe e Al).

Diagrammi di fase. Diagrammi tempo-temperatura. Sistemi a uno e due componenti. I diagrammi di equilibrio. Significato quantitativo dei diagrammi di equilibrio. Diagrammi di sistemi binari (solubilità totale, nulla e parziale, con formazione di composti, con trasformazioni peritettica e monotettica). Relazioni tra diagrammi di equilibrio e proprietà. Diagrammi complessi. Trasformazioni di fase fuori equilibrio (eutettico metastabile e spostamento dell'eutettico). Le segregazioni (micro e macro).

Difetti reticolari. Difetti di punto e di linea. Geometria e energia delle dislocazioni semplici (lineari ed elicoidali). Moto delle dislocazioni e loro interazione. Equazione di Peierl-Nabarro. Interazione con dispersoidi e bordi di grano.

La diffusione: leggi di Fick. Temperatura e coefficiente di diffusione.

Elementi di meccanica dei materiali

Deformazioni elastiche e plastiche. La curva sforzo-deformazione. Deformazioni plastiche nei monocristalli. Modello di Frenkel. Legge di Schmid. Deformazioni plastiche nei policristalli: legge di Petch. L'incrudimento. Le sorgenti di dislocazioni. La ricristallizzazione. Creep e rilassamento dello sforzo. Rottura per creep. Parametri di Larson-Miller. Deformazioni superplastiche. Durezza. Frattura e Resilienza. Transizione fragile-tenace.

Leghe di interesse industrialeLeghe ferrose.

Struttura e proprietà degli acciai semplici. Strutture da trattamento isoterma e da raffreddamento continuo. Curve di Bain. Proprietà delle strutture di non equilibrio. Temprabilità. Prova Jomini. Acciai speciali: effetto degli elementi di lega sulla microstruttura, proprietà e temprabilità. Effetto degli elementi di lega più comuni (Ni, Mn, Cr, Si). Gli acciai inossidabili. Gli acciai rapidi. Gli acciai maraging. Le ghise comuni e speciali.

Trattamenti termici. Le temperature interrotte. I mezzi di tempra. Ricottura, rinvenimento e normalizzazione. Effetto della temperatura sulla struttura della martensite. La fragilità da rinvenimento. La bonifica. I trattamenti di diffusione: cementazione, nitrurazione.

Rame e sue leghe.

Caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche del rame. Ottoni comuni e speciali. Bronzi comuni e speciali.

Alluminio e sue leghe.

Caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche dell'alluminio. Leghe da fonderia e da lavorazione plastica. Indurimento per precipitazione: meccanismo e effetti. La classificazione delle leghe di alluminio.

Titanio e sue leghe.

Caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche del titanio. Leghe *a*, *b*, *ab*.

Le Superleghe.

Superleghe a base di Fe/Ni, Ni e Co. Proprietà generali. Tecniche di solidificazione direzionale.

#### Elementi di struttura dello stato solido amorfo

I vetri. Curve Volume/Temperatura. La transizione vetrosa. Temperatura e viscosità. Natura viscoelastica dei solidi amorfi.

#### I materiali ceramici e vetrosi

Le strutture cristalline della silice e dei silicati (a isola, a catena e a strato). Formazione di vetri silicei. Diagrammi di fase nelle ceramiche. Proprietà termiche e meccaniche dei vetri e delle ceramiche. Tecniche di formatura. Vetro temprato termicamente. Materiali tradizionali: refrattari, ceramiche per usi elettrici, smalti. Ceramiche strutturali. Tenacizzazione mediante trasformazione di fase nella zirconia.

#### I materiali polimerici

Natura delle macromolecole. Peso molecolare, grado di polimerizzazione, distribuzione dei pesi molecolari. Polimeri lineari, ramificati e reticolati. Polimeri di addizione e di condensazione. Omopolimeri e copolimeri. I polimeri amorfi. Natura della cristallinità nei polimeri. La struttura sferulitica. Parametri molecolari che influenzano la transizione vetrosa. Transizione vetrosa e proprietà. Proprietà meccaniche dello stato vetroso. Il crazing. La deformazione plastica nei polimeri semicristallini. La formazione di fibre.

Struttura e proprietà delle gomme. La vulcanizzazione. Le gomme termoplastiche.

I polimeri termoindurenti: struttura e proprietà. Gelazione e vetrificazione. Diagrammi TTT. Resine Fenoliche, Poliestere e epossidiche.

Il problema della fragilità dei polimeri. I polimeri tenaci (Polistirolo antiurto, ABS).

#### I materiali compositi

Materiali compositi particellari. I materiali induriti per dispersione, leghe SAP e ODS. Il compocasting. Materiali compositi a fibre corte e lunghe. Anisotropia delle proprietà. Moduli elastici e resistenze specifiche. Trasferimento di sforzo all'interfaccia e lunghezza critica delle fibre. Tipi e proprietà delle fibre: vetro, organiche (poliesteri, nylon aromatici, polietilene), carbonio, ceramiche, metalliche. Tecniche più comuni di produzione dei materiali compositi: hand lay-up, filament winding, pultrusion, resin transfer molding (RTM), vacuum bag, sheet molding compound (SMC).

Materiali compositi ceramici. Il sistema Carbonio-Carbonio. Materiali compositi metallici.

Materiali compositi laminari. Alclad e Arali. Strutture sandwich.

#### La corrosione

Meccanismo di accrescimento delle pellicole di ossido e loro proprietà. Rapporto Pilling-Bedworth. Corrosione umida. Richiami di elettrochimica. Serie elettrochimica e galvanica. Corrosione del ferro. Corrosione galvanica, per differenza di concentrazione, per aereazione differenziale, per correnti vaganti. Effetto degli stati tensionali. La corrosione negli acciai inossidabili. Metodi di protezione: passivazione, uso di inibitori, protezione catodica e anodica, rivestimenti.

#### *Testi consigliati*

D.R. Askeland, *The Science and Engineering of Materials*, Chapman and Hall, II edizione.

(dello stesso testo è disponibile la III edizione presso la PWS Publishing Company, Boston).

**SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI ELETTRICI****AF0106****Prof. Febo SEVERINI***Programma d'esame*

**Nozioni fondamentali sullo stato solido.** Concetti fondamentali di struttura della materia. Solidi ionici, covalenti, metallici e molecolari; proprietà meccaniche e termiche dei solidi. Proprietà elettroniche, conducibilità e superconduttività. Leghe sostituzionali e interstiziali. Regola delle fasi e regola della leva. Diagrammi di stato binari di sostanze completamente miscibili allo stato liquido e miscibili completamente, parzialmente o completamente immiscibili allo stato solido; diagrammi con punto peritettico. Diagrammi ternari.

**Metalli e leghe.** Ferro, rame, alluminio e loro leghe. Acciai e ghise. Strutture in relazione al loro ottenimento. Proprietà meccaniche ed elettriche.

Materiali semiconduttori. Semiconduttori estrinseci, drogaggio giunzioni p n, transistor. Preparazione di materiali iperpuri.

Materiali superconduttori. Superconduttività, leghe superconduttive. Parametri critici.

Materiali magnetici. Curve di magnetizzazione e isteresi, temperatura di Curie, materiali magnetici dolci e duri, leghe ferro-silicio, leghe ferro-nichel, ferriti, leghe alnico, nastri e film magnetici, magneti a terre rare.

Materiali dielettrici. Polarizzazione e costante dielettrica, dipendenza della costante dielettrica dalla temperatura e dalla frequenza, dissipazione di energia, dielettrici solidi liquidi e gassosi.

Materiali ferroelettrici e piezoelettrici.

**Vetri.** Stato vetroso, composizione, fabbricazione, proprietà meccaniche. Vetri di impiego nell'industria elettrica, vetri temperati, vetroceramiche, fibre ottiche. Ceramiche: generalità, materie prime, cottura, proprietà, principali prodotti ceramici di impiego nell'industria elettrica. Materiali leganti.

**Materiali polimerici.** La polimerizzazione. Polimeri semicristallini e polimeri amorfi, temperatura di fusione e di transizione vetroso, plastificanti, copolimeri, polimeri termoplastici, termoindurenti e gomme, proprietà meccaniche dei polimeri e modelli analogici. Principali applicazioni delle materie plastiche nell'industria elettrica. Degradazione ambientale dei materiali plastici. Degradazione da effetti elettrici.

**La combustione e i combustibili.** Generalità, i principali combustibili, reazioni di combustione, poteri calorifici.

**Le acque.** Generalità, analisi. Durezza delle acque e sua eliminazione. Acque per caldaie. Dissalazione.

**Corrosione.** Meccanismi fondamentali della corrosione e fattori che la determinano; metodo di prevenzione con particolare riguardo ai rivestimenti organici anticorrosivi.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni vertono su argomenti relativi alle proprietà ed al comportamento dei materiali studiati.

*Modalità d'esame*

Gli esami sono orali. Tuttavia agli esaminandi potrà essere richiesto di rispondere per iscritto ad una o più domande prima dell'esposizione orale.

*Libri consigliati*

I. Wulff: *Struttura e proprietà dei materiali*, Ed. CEA, Milano

Z.D. Jastrzebski: *The nature and properties of engineering materials*, Wiley e Sons, 1986.

**SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI POLIMERICI****AF0113****Prof. Mario PEGORARO***Programma d'esame***PARTE GENERALE.**

Richiami alla natura, morfologia, struttura dei polimeri in relazione alle loro proprietà.

Fenomeni di trasporto: conservazione della massa, del momento, dell'energia con riferimento ai processi tecnologici. Reologia dei fusi polimerici. Fluidi newtoniani e non newtoniani. Significato e valutazione della viscosità: sua dipendenza dal gradiente di velocità, temperatura, pressione, tempo e dalla natura del polimero. Fenomeni viscoelastici nei processi di lavorazione. Fondamenti dei metodi di scambio termico dei materiali polimerici. (Conduzione, irraggiamento, dissipazione viscosa, riscaldamento dielettrico).

**Operazioni tecnologiche fondamentali:** principi reologici e attuazione industriale. Stampaggio per compressione semplice. Calandratura. Estrusione. Stampaggio a iniezione. Termoformatura. Stampaggio rotazionale. Miscelazione: concetti di base e meccanismo di miscelazione, caratterizzazione delle miscele. Macchine per la miscelazione. Progettazione degli stampi. Influenza della tecnologia sulla struttura e su proprietà dei manufatti.

**APPLICAZIONI.**

**Materie plastiche:** a) termoplastiche: preparazione di film, foglie, laminati. Resine espanse, b) termoindurenti: aspetti chimico-fisici della reticolazione. Stampaggio per iniezione-reticolazione (RIM), c) Preparazione dei materiali compositi.

Principi di impiego degli additivi.

**Elastomeri.**

- Chimica e tecnologia della vulcanizzazione. Proprietà dei manufatti in relazione alla composizione delle mescole. Invecchiamento. Pneumatici, cavi, tessuti gommati.

**Fibre tessili.**

- Principi e tecnologia della filatura da fusi polimerici e da soluzioni. Generalità sulle proprietà e applicazioni delle fibre.

**Rivestimenti organici anticorrosivi.**

- Teoria e meccanismo della corrosione. Varie forme di corrosione.

- Metodi di protezione. Inibitori. Protezione con strati ricoprenti; protezione delle superfici metalliche pretrattate, con rivestimenti organici anticorrosivi.

**Prodotti vernicianti.**

- Proprietà. Applicazioni. Sostanze filmogene (Resine). Formazione e proprietà dei film. Solventi, diluenti, plastificanti, pigmenti e cariche. Comportamento reologico, fisico e chimico delle pitture. Tecnologia della dispersione e della applicazione con particolare riguardo ai processi elettrostatici e elettroforetici.

Produzione industriale: macchine relative.

*Esercitazioni*

Saranno di tipo sperimentale e teorico e verranno completate da visite ad impianti industriali.

*Modalità d'esame*

Prova orale sul programma delle lezioni ed esercitazioni.

*Libri consigliati***Per la parte generale.**

Z. Tadmor, G. G. Gogos: *Principles of Polymer Processing*- Wiley N.Y., 1979.

**Per le parti specialistiche.**

H. Mark, E. Bikales: *Encyclopedia of Polymer Science and Tecnology*, Wiley N.Y. 1985.

Oil and Colour Chemist's Association: *Surface coating* voi. I e II Chapman e Hall, Londra, 1983.

Verranno distribuite le riproduzioni fotostatiche dei disegni, dei macchinari e schemi tecnologici riguardanti gli argomenti trattati e messe a disposizione per consultazione le opere su accennate.

**SERVIZI GENERALI D'IMPIANTO****AR0059****Proff. Augusto DI GIULIO, Antonio CALABRESE***Programma d'esame*

1. La progettazione dei servizi di impianto: generalità. Tipologie dei servizi. Metodologie di dimensionamento. Costi di impianto e di esercizio. Centralizzazione e frazionamento. Affidabilità e disponibilità dei sistemi complessi. Programmazione e pianificazione di sistemi complessi (impianti, servizi). Tecniche di programmazione reticolari (diagramma di Gantt e Pert). Problematiche connesse alla autorizzazione per la realizzazione di un insediamento industriale.
- 2.1 fabbricati industriali. Caratteristiche e tipologie. Edifici di tipo estensivo e di tipo intensivo. Flessibilità.
3. Produzione e distribuzione dell'energia termica. Determinazione dei fabbisogni. Bilanci energetici dei processi industriali. Caldaie e generatori di vapore. Combustione e combustibili. Stoccaggio dei combustibili. Trasporto del calore (aria calda; acqua calda e surriscaldata; vapore d'acqua; fluidi diatermici). Recuperi energetici. Produzione combinata di energia elettrica e vapore.
4. Distribuzione dell'energia elettrica. Determinazione dei fabbisogni. Analisi delle utenze. Scelta delle tensioni e del sistema di distribuzione. Schemi elettrici. Dimensionamento dei conduttori. Rifasamento dell'impianto. Norme di sicurezza e protezione degli operatori.
5. Acque. Caratteristiche generali. Acque tecnologiche: principali processi di trattamento. Acque potabili: determinazione dei fabbisogni, trattamenti, approvvigionamento, pozzi. Reti di distribuzione: dimensionamento, tubazioni e accessori. Serbatoi, pompe e stazioni di pompaggio. Acque reflue: caratteristiche generali, normativa, processi di depurazione, dimensionamento degli impianti. Smaltimento dei fanghi e dei rifiuti industriali.
6. Aria compressa. Impieghi industriali dell'aria compressa. Determinazione dei fabbisogni. Compressori. Accessori. Dimensionamento delle reti di distribuzione. Centrali di compressione.
7. Trasporti. Caratteristiche dei materiali (liquidi; in pezzatura; unitarizzati). Mezzi di trasporto a movimento continuo e discontinuo. Determinazione della potenzialità del sistema di trasporto. Trasporti interni e magazzini. Norme di sicurezza. Vie di movimento e trasporto interne all'insediamento industriale. Aree di parcheggio. Raccordi ferroviari.
8. Climatizzazione. Requisiti termo igrometrici degli ambienti industriali. Bilancio termico dei locali. Esigenze di ventilazione. Riscaldamento invernale. Normative. Impianti di condizionamento.
9. Illuminazione. Requisiti luminosi degli ambienti industriali. Illuminazione a luce naturale. Illuminazione a luce artificiale, metodi di dimensionamento e verifica. Tipologia delle sorgenti luminose. Apparecchi di illuminazione: generalità e caratteristiche. Considerazioni tecnico - economiche in ordine al dimensionamento, alla scelta ed alla gestione degli impianti di illuminazione. Illuminazione di esterni (piazzali).

10. Effluenti gassosi. Caratteristiche e tipologie. Limiti alle emissioni. Tecniche di misura. Sistemi di abbattimento e smaltimento.
11. Servizi ausiliari e servizi igienico sanitari. Caratteristiche generali e criteri di progetto.
12. Impiego industriale del metano e dell'ossigeno. Approvvigionamento, distribuzione, norme di sicurezza.
13. Impianti di ventilazione. Ventilatori, tubazioni ed accessori. Dimensionamento degli impianti di ventilazione.
14. Valutazione dell'impatto ambientale (VIA) di sistemi produttivi. Individuazione dei rischi rilevanti. Analisi di rischio. Qualità della sicurezza. Rapporto di rischio. Emergenze.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nello sviluppo di elaborati di carattere applicativo, che potranno formare oggetto di domanda in sede d'esame.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale, attinente sia il programma del corso che la soluzione di problemi di tipo applicativo. Durante l'anno potranno essere tenute prove scritte facoltative che, se superate con esito favorevole, potranno costituire elemento di giudizio per l'assegnazione del voto finale.

#### *Testi consigliati*

- A. Monte: *Elementi di impianti industriali*, Cortina Ed.
- F. Turco: *Principi generali di progettazione degli impianti*, CLUP.
- C.F. Marcolli, P. Parolini: *Produzione e distribuzione dell'energia termica ed elettrica*, CLUP.
- R. Ruggeri: *Illuminazione degli ambienti di lavoro*.
- Per approfondimenti possono essere consultati i seguenti testi.
- R.H. Perry, C.H. Chilton: *Chemical engineers handbook*, Me Graw Hill.
- A.C. Stem: *Airpollution*, Academic Press.
- W. Osbome, C. Fans, Pergamon Press
- F.P. Lees: *Loss prevention in the process industries*, Butterworths.
- ASHRAE: *Handbook*.
- L. Masotti: *Depurazione delle acque*, Calderini ed.
- V. Samo, L. Federiconi: *Il trattamento delle acque per usi vari*, Hoepli.
- H. Rase: *Piping Design for process plant*, John Wiley & S.

## **SERVIZI TECNOLOGICI NEGLI EDIFICI**

**AJ0020****Prof. Nino ZAMUNER**

#### *Programma d'esame*

##### **- Sistemi di unità di misura.**

**- Cenni di termodinamica:** primo principio, energia interna, entalpia, equazioni di stato dei gas, gas perfetti e gas reali.

Le trasformazioni termodinamiche dei gas: isovolumetrica, isoterma, isobara.

Passaggi di stato, gas e vapori, il vapor d'acqua. Miscele gassose, miscele di gas e vapori.

- **Trasmissione del calore:** conduzione, convezione, irraggiamento. La trasmissione negli edifici, coefficienti di trasmissione termica. Criteri attuali della progettazione termica degli edifici al fine del contenimento dei consumi energetici. Legge n. 373.
- **Aria umida:** umidità relativa, umidità assoluta, temperatura di rugiada, temperatura a bulbo secco, temperatura a bulbo umido. Entalpia dell'aria umida, diagramma psicometrico, uso dello psicometro, trasformazioni termodinamiche dell'aria umida.
- **Cenni sul moto dei fluidi nei condotti:** dimensionamento delle tubazioni percorse da acqua e di condotti percorsi da aria.
- **Impianti di riscaldamento:** calcolo del carico termico, componenti vari (caldaie, pompe, rete di tubazioni, corpi scaldanti ecc.). Regolazione.
- **Impianti di condizionamento:** calcolo del carico termico estivo, irraggiamento solare, inerzia termica. Classificazione e studio degli impianti: impianti a tutt'aria, a tutt'acqua e misti; impianti locali e centralizzati. Centrali frigorifere. Regolazione.
- **Impianti sanitari:** reti di scarico, reti di distribuzione dell'acqua potabile, impianto autoclave. La produzione e la distribuzione dell'acqua calda per i servizi sanitari. Pannelli solari.
- **Impianti elettrici:** cenni di elettrotecnica, gli impianti elettrici negli edifici civili, organi di protezione; la messa a terra degli impianti, la rete di terra. Illuminotecnica.
- **Cenni sugli elevatori.**

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nello studio applicativo dei principali servizi tecnologici negli edifici con riferimento ai progetti sviluppati nel corso di Architettura Tecnica II; in ragione di ciò gli elaborati, comprendenti le relazioni descrittive, saranno basati sui predetti progetti.

#### *Modalità d'esame*

All'allievo che abbia frequentato regolarmente il corso, dimostrando, nei colloqui sostenuti durante l'anno e con lo svolgimento degli elaborati grafici, di aver raggiunto un grado sufficiente di preparazione, sarà assegnato preliminarmente un voto, sempre che siano state soddisfatte le prescritte condizioni di precedenza. Tale voto sarà perfezionato con un esame orale finale.

All'allievo che, pur avendo frequentato il corso, non avesse raggiunto un grado di preparazione giudicato sufficiente, il voto sarà assegnato a seguito di una particolare prova integrativa.

#### *Libri consigliati*

*Gli impianti negli edifici*, Edizione CLUP, anno 1984.

Dispense messe a disposizione dal Dipartimento.

**SERVOSISTEMI AEROSPAZIALI**  
**Prof. Franco BERNELLI ZAZZERA**

**AL0117**

#### *Programma d'esame*

##### **Richiami di dinamica dei sistemi lineari.**

Rappresentazione di sistemi dinamici nello spazio degli stati - Trasformata di Laplace - Funzioni di trasferimento - Stabilità - Risposta a regime - Margini di stabilità - Diagrammi di Bode e Nyquist - Controllabilità e osservabilità.

**Sensori, attuatori e cenni di componentistica elettronica.**

Sensori giroscopici, accelerometrici e di angoli aerodinamici - Elettrovalvole - Attuatori elettrici - Attuatori idraulici - Attuatori giroscopici - Amplificatori operazionali - Convertitori A/D e D/A - Sistemi di acquisizione dati - Circuiti integrati - Realizzazione digitale.

**Sistemi di aumento di stabilità e controllo del volo atmosferico.**

Equazioni di moto di un aeroplano - Derivate di stabilità e controllo - Approssimazioni di corto periodo, fugoide, dutch-roll, rollio e spirale - Sistemi di aumento di stabilità dei moti longitudinali e laterodirezionali - Sistemi di controllo della traiettoria di volo - Modellazione della turbolenza atmosferica - Risposta alla turbolenza atmosferica - Sistemi di alleviazione dei carichi.

**Soppressione delle vibrazioni di strutture aerospaziali.**

Equazioni di moto di strutture modellate a parametri concentrati e distribuiti - Attuatori a massa di reazione - Soppressione delle vibrazioni di una trave omogenea - Soppressione del flutter.

**Sistemi di stabilizzazione dell'assetto di satelliti.**

Equazioni della dinamica dell'assetto di satelliti - Sistemi di stabilizzazione dell'assetto di satelliti a puntamento terrestre Sistemi di stabilizzazione dell'assetto di satelliti a puntamento inerziale.

*Libri consigliati*

B. Friedland: *Control System Design: an Introduction to State-Space Methods*, McGraw Hill.

G.F.Franklin, J.D.Powell, A.Emami-Naeini: *Feedback Control of Dynamic Systems*, Addison-Wesley Publishing Company.

D.McLean: *Automatic Flight Control Systems*, Prentice Hall.

R.C.Nelson: *Flight Stability and Automatic Control*, McGraw Hill.

J.Wertz: *Spacecraft Attitude Determination and Control*, D.Reidei Publishing Company.

W.L.Green: *Aircraft Hydraulic Systems*, John Wiley and Sons.

Merrit: *Hydraulic Control Systems*, John Wiley and Sons.

C. L.Nachtigal: *Instrumentation & Control: Fundamentals and Applications*, Wiley-Interscience.

**SIDERURGIA****AR0135****Prof. Walter NICODEMI***Programma d'esame*

**1. Introduzione:** evoluzione storica della siderurgia e definizione degli argomenti di interesse siderurgico. Richiami di Chimica-fisica con particolare riguardo alla legge di ripartizione, all'affinità dei metalli per l'ossigeno, e all'estensione delle formule valide per i sistemi omogenei ai sistemi eterogenei.

**2. Materie prime e operazioni preliminari:** frantumazione e macinazione, arricchimento, trattamenti dei minerali di ferro ed in particolare agglomerazione e pellettizzazione.

**Operazioni metallurgiche per via termica:** teoria completa della riduzione degli ossidi di ferro; fusione riduttrice dei materiali ossidati; conversione del metallo grezzo ed in particolare della ghisa (decarburazione, disossidazione, degasificazione ed eliminazione delle particelle non metalliche, defosforazione).

**Processi ed impianti siderurgici:** fabbricazione della ghisa e dell'acciaio con tutti i procedimenti tradizionali e loro perfezionamenti; principali tipi di forni usati in siderurgia; l'alto forno, convertitori classici e ad ossigeno, forni elettrici, ecc.; elaborazione fuori forno; processi di fabbricazione sotto vuoto; produzione del metallo (ferro ed acciaio) dal minerale.

**3. Approfondimento nello studio dei prodotti siderurgici, in particolare:**

**i trattamenti termici degli acciai;** considerazioni teoriche e particolari aspetti applicativi;

**Tinfluenza degli elementi aggiunti** al ferro e degli elementi nocivi sulle proprietà degli acciai;

**i difetti riscontrabili negli acciai** e metodi di controllo per rilevarli.

**4. Discussione critica**, in relazione alle principali applicazioni di:

**acciai:** comuni, da costruzione, per impieghi alle basse e alle alte temperature, inossidabili, per utensili, resistenti all'usura, maranging; **ghise:** comuni, di qualità e speciali; particolari realizzati con la **metallurgia delle polveri.**

*Esercitazioni*

Oltre alle esercitazioni di laboratorio, in lezioni a carattere monografico, verranno approfonditi alcuni argomenti di metallografia e di impiantistica siderurgica; sono inoltre previste visite agli impianti più significativi.

*Libri consigliati*

W. Nicodemi: *Siderurgia* (processi ed impianti) - Ed. A.I.M., Milano 1994.

W. Nicodemi: *Metallurgia*. Ed. Masson 1996.

**SINTESI E CONTROLLO DEI PRODOTTI CHIMICI****000850****Prof.ssa Ombretta PORTA CLERICI***Programma d'esame***Generalità.**

Classificazione dei prodotti chimici commerciali. Norme per la manipolazione dei reagenti, delle soluzioni e dei solventi. Attrezzatura e manualità associate alla pesata e alla misura del volume. Regole di sicurezza. Considerazioni generali sulla scelta di una metodologia analitica e dei metodi chimico-fisici di analisi e controllo.

**Valutazione dei dati analitici.**

Precisione ed accuratezza dei dati sperimentali. Errori sistematici. Errori casuali. Applicazione della statistica a piccole serie di dati. La convenzione sulle cifre significative.

**Principali processi chimici di analisi e di separazione. Finalità analitiche e preparative.**

1. Equilibri in soluzione: controllo della solubilità e formazione di complessi.
2. Metodi di separazione basati su cambiamenti di stato: cristallizzazione, sublimazione e distillazione.
3. Separazione per estrazione: estrazione con solventi di composti organici e organometallici. Estrazione basata sul controllo del pH ed estrazione in continuo.
4. Metodi cromatografici: cromatografia su piastra, cromatografia su colonna e cromatografia flash. Cromatografia gas-liquido, cromatografia liquida ad alta prestazione e cromatografia a scambio ionico. Applicazioni. Analisi qualitativa e quantitativa.

**Metodi chimico-fisici di analisi atti a seguire il decorso delle reazioni e la caratterizzazione dei prodotti.**

1. Spettroscopia visibile e UV: legge di Beer e curve di taratura. Analisi di un componente, analisi simultanea di più componenti. Titolazioni spettrofotometriche e determinazioni spettrofotometriche di alcune costanti fisiche ( $K_f$  e stechiometria di un complesso,  $K_a$  degli indicatori).
2. Spettroscopia IR: relazione tra frequenza, intensità e tipo di legame. Tabelle di correlazione. Analisi di spettri ed applicazioni.

3. Spettroscopia di risonanza magnetica nucleare: teoria e strumentazione, spostamento chimico, accoppiamento spin-spin, sistemi di accoppiamento. Delucidazione di strutture molecolari. Analisi quantitativa. Studio di equilibri in soluzione e di fenomeni conformazionali.
4. Spettrometria di massa: principio fisico del metodo (impatto elettronico e ionizzazione chimica) e strumentazione. Interpretazione di spettri di massa. Applicazioni analitiche. Gas-massa.
5. Scelta di un metodo chimico-fisico di analisi in relazione alle informazioni necessarie.

#### *Esercitazioni*

Tutti gli argomenti svolti su base teorica sono accompagnati da calcoli numerici e da esercitazioni pratiche di laboratorio che hanno la funzione di rendere familiare all'allievo le operazioni di laboratorio in vista del loro trasferimento su scala industriale.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sulla materia del corso e delle esercitazioni. La valutazione sarà basata anche sull'impegno mostrato durante le esercitazioni, ulteriormente accertato mediante relazioni, colloqui ed altre prove svolte durante l'anno accademico.

#### *Nota agli studenti*

Il programma è dettagliato in quanto intende essere una guida per lo studente, tuttavia si consiglia la frequenza alle lezioni. Durante il corso verranno fornite indicazioni sulle fonti più opportune per lo studio ed approfondimento degli argomenti trattati.

#### *Testi consigliati*

Oltre agli appunti ed altro materiale distribuito durante il corso, si consigliano i seguenti testi:

H. H. Bauer, G. D. Christian, J.E. O'Reilly: *Analisi Strumentale*, Piccin ed., 1985.

J. S. Fritz, G. H. Schenk: *Quantitative Analytical Chemistry*, ISE ed., 1987.

D. Skoog, D. West: *Chimica Analitica*, SES ed., 1987.

## **SISTEMAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI**

**AI0011****Prof. Paolo BURLANDO**

#### *Programma d'esame*

### **1. Richiami sulle normative in materia d'acqua e suolo.**

La legge sulla difesa del suolo. La legge sulla tutela delle acque. Normative di settore.

### **2. Richiami di idrologia generale.**

Bacino idrografico e bacino idrologico. Cartografia digitale. Sistemi Informativi Geografici (GIS). Dati idrologici: misure tradizionali e sensori remoti. Bilancio idrologico. Precipitazioni. Distribuzione spaziale delle piogge. Piogge intense e di breve durata, linee segnalatrici di probabilità pluviometrica. Evaporazione e traspirazione. Deflussi fluviali. Cenni di modellistica distribuita.

### **3. Piene fluviali.**

Bilancio idrologico di una piena, componenti deH'idrogramma di piena. Simulazione delle componenti superficiale e sotterranea. Richiami sui modelli afflussi-deflussi. Studio probabilistico delle piene. Richiami di propagazione delle piene: equazioni generali, semplificazione cinematica e parabolica, metodi numerici. Modelli a base idrologica e metodo Muskingum. Cenni sulla valutazione delle aree esondabili.

**4. Trasporto solido.**

Granulometria dei sedimenti, inizio del movimento. Forme di fondo. Resistenze al moto. Modalità del trasporto di fondo e in sospensione. Misure in campo. Formule della capacità di trasporto di fondo. Trasporto di fondo effettivo. Trasporto in sospensione. Trasporto totale. Bilanci medi annui. Trasporto di piena e fenomeni alluvionali.

**5. Morfologia fluviale.**

Formazione del reticolo idrografico. Geomorfologia delle reti idrografiche. Leggi di composizione. Modello scala-invariante. Modello topologico. Geometria idraulica. Teoria del regime. Teoria dell'equilibrio limite. Alvei stabili. Meandri e loro dinamica. Leggi di Fargue. Portata formativa. Impostazione del problema generale di stabilità.

**6. Sistemazione dei versanti.**

Erosione dei versanti. Previsione dell'erosione a scala di bacino. Drenaggi. Opere di consolidamento superficiale. Tecniche di ingegneria naturalistica. Sistemazioni idraulico-forestali. Sistemazioni localizzate ed estensive. Consolidamento di frane superficiali.

**7. Sistemazione dei torrenti.**

Torrenti di scavo e di deposito. Lave torrentizie. Profilo di compensazione. Sistemazione a gradinata e a cunetta. Opere trasversali: briglie, briglie selettive e soglie. Opere longitudinali e repellenti. Opere rigide e flessibili. Dimensionamento idraulico e statico delle opere. Opere di ritenuta del materiale solido. Sistemazioni spondali con tecniche di ingegneria naturalistica.

**8. Sistemazioni fluviali.**

Problema generale di erosione. Erosioni localizzate. Opere longitudinali: difese e rivestimenti spondali naturali e artificiali. Opere trasversali: traverse, soglie di fondo, pennelli e repellenti. Tecniche costruttive e materiali.

**9. Opere idrauliche e controllo delle piene.**

Opere di controllo delle piene fluviali: bacini di laminazione, scolmatori, diversivi, sistemazione d'alveo; loro impostazione progettuale. Argini e golene. Statica degli argini in terra. Sifonamento e impermeabilizzazione. Aree a rischio idraulico ed interventi non strutturali, preannuncio delle piene.

*Libri di testo e materiale didattico*

Schede didattiche del corso sulla *Sistemazione idraulica dei bacini idrografici*

L. DaDeppo, C. Datei, P. Salandin, *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Cortina, Padova, 1995.

G. Benini: *Sistemazioni idraulico-forestali*, UTET, Torino, 1992.

AA.W., *Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica*, Regione Emilia-Romagna e Regione Veneto, 1993.

H. M. Schiechl, *Bioingegneria forestale*, Feltre, Castaldi, 1991.

A. Paoletti, *Lezioni di Idraulica Fluviale*, dispense dell'omonimo corso, D.I.I.A.R., Politecnico di Milano.

A. N. Strahler, *Geografia fisica*, Piccin, Padova, 1985.

B. Finlayson e I. Stratham, *Hillslope analysis*, Butterworths, Londra, 1980.

J. A. Maza-Alvarez, *Introduction to river engineering*, Univ. Nac. Mexico, 1995.

S.A. Schumm, M.P. Mosley e W.E. Weaver, *Experimental fluvial geomorphology*, J. Wiley & Sons, New York, 1987.

K. J. Gregory e D.A. Walling, *Drainage basin form and process*, Edward Arnold, Londra, 1973.

L. B. Leopold, M. G. Wolman e J. P. Miller, *Fluvial Processes in Geomorphology*, W.H. Freeman & Co., San Francisco, 1964.

M. S. Yalin, *Mechanics of sediment transport*, New York, 1972.

J. Bogardi, *Sediment transport in alluvial streams*, Akadémik Kiado, Budapest, 1974.

M.M. Grishin (a cura di), *Hydraulic structures*, Mosca, 1982.

E. Marchi e A. Rubatta, *Meccanica dei fluidi*, UTET, Torino, 1983.

V.T. Chow, D.R. Maidment, e L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1988.

M. Newson, *Land water and development*, Routledge, London, 1992.

**SISTEMI DI COMMUTAZIONE****AG0260****Prof. Achille PATTAVINA***Programma d'esame***1. Introduzione.**

Le reti per telecomunicazioni e i sistemi di commutazione. Reti telefoniche. Reti integrate nei servizi. Reti a larga banda.

**2. Teoria del traffico.**

Processi di pura nascita: modello di Poisson, Bemoulli, Pascal. Processo di pura morte. Processi di nascita e morte. Code M/M/C a popolazione infinita e finita. Modelli di traffico telefonico: definizione e proprietà. Modello di sorgente singola e multipla. Analisi di fascio perfetto: ipotesi CPS, CPT, CPR.

**3. Reti geografiche a commutazione di circuito.**

Rete telefonica. Tecniche di instradamento: gerarchiche e non-gerarchiche, statiche e dinamiche. Dimensionamento di fascio di trabocco globale e per rivolo di traffico: metodi di Wilkinson, Fredericks, Lindberger. Valutazione delle prestazioni in reti a perdita: calcolo della perdita globale e per relazione, calcolo del traffico offerto. Sintesi di reti gerarchiche: metodo di Pratt. Sintesi di rete non-gerarchica: algoritmo di Katz ed algoritmi per instradamenti adattativi.

**4. Reti numeriche ISDN e BSDN.**

La rete integrata ISDN: architettura di protocolli e servizi. Evoluzione verso la rete integrata a larga banda B-ISDN. Le modalità di trasferimento STM e ATM. La rete trasmissiva a larga banda: gerarchia sincrona SDH, apparati Add/Drop Multiplexer, Digital Cross Connect. La rete di trasporto a larga banda ATM: formato dei pacchetti e architettura dei protocolli.

**5. Reti di connessione.**

Tassonomia delle reti di connessione. Reti monostadio e multistadio. Isomorfismo tra reti. Rete crossbar. Reti multistadio ad interconnessione totale: reti non bloccanti e riarrangiabili. Teoremi di Clos, Slepian-Duguid e Paull. Reti autoinstradanti: reti baniane ed equivalenza tra reti. Reti a permutazione: reti di sorting e merging. Reti multistadio ad interconnessione parziale: reti non bloccanti e reti riarrangiabili. Reti con replicazione verticale e/o espansione orizzontale. Reti parzialmente e totalmente autoinstradanti. Reti di Benes, di Cantor e EGS. Complessità asintotica di reti di connessione.

**6. Commutazione in reti a larga banda di tipo ATM.**

Architetture di commutazione a larga banda: reti di interconnessione ATM. Reti autoinstradanti: reti bloccanti senza buffer e con buffer, reti non-bloccanti con tecnica di accodamento singola e multipla. Reti con code all'ingresso, con code all'uscita e con code condivise. Reti con instradamento a minima distanza e deflessione. Valutazione delle prestazioni: traffico smaltito, ritardo e perdita delle celle.

*Modalità d'esame*

Prova scritta e orale

*Testi consigliati*A. Pattavina: *Appunti dalle lezioni*M. Buttò, G. Colombo, T. Tofoni, A. Tonetti: *Ingegneria del traffico nelle reti di comunicazioni*, Scuola Superiore Guglielmo Reiss Romoli, 1991.F.R. Goldstein: *ISDN in Perspective*, Addison Welsey, 1992.

**SISTEMI DI CONTROLLO DI GESTIONE****AQ0106****Prof. Giovanni AZZONE***Programma d'esame***1. Gli obiettivi del sistema di controllo di gestione (SCG).**

Le componenti del sistema di controllo di gestione: organizzazione, processo, tecniche. I requisiti del SCG per il supporto decisionale, la motivazione e l'apprendimento organizzativo.

**2. Le tecniche utilizzate nel SCG.**

Le tecniche basate sulla contabilità esterna: il bilancio consolidato, richiami sull'analisi per indici. Le tecniche basate sulla contabilità interna: richiami sulle tecniche tradizionali di calcolo dei costi di prodotto (*job costing, process costing, operation costing*, sistemi per l'allocazione dei costi dai centri di servizio ai centri produttivi, sistemi per l'attribuzione dei costi congiunti, sistemi per la contabilizzazione degli scarti); i nuovi approcci al calcolo dei costi di prodotto (*activity based costing, backflush costing, functional costing, throughput accounting*). Le tecniche basate su indicatori non finanziari. Le tecniche basate sulla misura della creazione di valore economico (il pentagono del valore, le opzioni strategiche). Le tecniche di tipo ibrido («*quality costs, costi ambientali*»).

**3. L'architettura del SCG.**

L'architettura verticale del SCG (requisiti e tecniche relative ai diversi livelli dell'impresa). L'architettura orizzontale del SCG (tipologie di centri di responsabilità e problemi relativi, i prezzi di trasferimento e il modello di Eccles, l'allocazione dei costi corporate). L'architettura per i progetti (*life cycle costing, strategie cost accounting, target costing, activity based management*).

**4. Il processo di budgeting.**

Il processo tradizionale di budgeting (i budget operativi, il budget di cassa, il budget finanziario, il budget del personale, il budget degli investimenti). Le innovazioni nel processo di budgeting: il *Cost Accounting by Goals and Strategies, VActivity Based Budgeting*. L'approccio umanistico al processo di budgeting.

**5. La progettazione del SCG.**

Le variabili progettuali del sistema di controllo di gestione: il modello delle 7S, la teoria A, la teoria J. La progettazione in contesti innovativi. La *balanced scorecard*.

**6. Il SCG in fasi di cambiamento strategico.***Libri consigliati*

G. Azzone: *Sistemi di controllo gestione*, Etas Libri, 1994.

P. Maccarrone: *Sistemi di controllo di gestione: esercizi*, CittàStudi Edizioni, 1996.

Verrà inoltre fornito, durante l'anno, un elenco di letture consigliate.

**SISTEMI DI ELABORAZIONE****AG0236****Prof.ssa Mariagiovanna SAMI****Finalità del corso.**

Il corso ha lo scopo di preparare al progetto di sistemi digitali complessi; tipicamente classificati come "sistemi dedicati" (*embedded systems*), definiti mediante specifiche che comprendono requisiti vari e spesso contrastanti che vanno dal costo alla velocità di elaborazione, dal consumo di potenza all'affidabilità, etc. Sistemi di questo genere si incontrano in un numero sempre crescente di applicazioni, spesso con vincoli critici di qualità e velocità di risposta; nel caso più generale la soluzione non può essere fornita con architetture di tipo generale, basate sull'uso di microprocessori

standard e dell'opportuno software, ma coinvolge il progetto di dispositivi integrati specifici (i cosiddetti ASIC) o - più in generale - il ricorso ad architetture miste in cui dispositivi programmabili standard sono affiancati da circuiti specifici progettati ad hoc.

Nel corso si presenteranno tecniche e metodologie che meglio consentono di realizzare architetture avanzate di questo genere, rispondenti a requisiti di tempo reale, sicurezza, compattezza etc.. Partendo dagli aspetti progettuali più caratteristici dei dispositivi digitali - e considerando in particolare i requisiti di qualità - si passerà ad esaminare le metodologie di progetto che, spostando sintesi e validazione verso livelli di astrazione sempre più elevati, consentono di raggiungere implementazioni "corrette per costruzione" in tempi sempre più brevi. Ci si soffermerà in particolare sui problemi che caratterizzano il livello "di sistema", dove una specifica formale e simulabile e il successivo partizionamento dei compiti fra circuiti integrati dedicati (ASIC) e circuiti programmabili (microprocessori) costituiscono i primi passi della sintesi.

### *Programma d'esame*

1. Il collaudo. Modelli di guasto e livelli di astrazione. Tecniche fondamentali di collaudo dei sistemi digitali e loro complessità. Collaudo a livello logico, funzionale e comportamentale. La simulazione di guasto e il suo uso per la generazione dei vettori di collaudo e per la valutazione della copertura di guasto.
2. Analisi della testabilità. Tecniche di analisi e misure. L'analisi della testabilità come una fase nel processo di progetto.
3. Design for Testability. Tecniche ad hoc e tecniche strutturate. L'approccio Scan Path; la soluzione Partial Scan. Lo standard Boundary Scan e la sua applicazione a vari livelli. Valutazione dei costi e delle prestazioni. Strumenti di progetto per la creazione di progetti testabili.
4. Built-In Self Test. Tecniche di compressione dei risultati di test. Built-In Test con generazione pseudocasuale dei vettori di test. BILBO: applicazione a strutture regolari e a strutture a bus. Valutazione di costi e prestazioni. Studi di caso.
5. La sintesi dei sistemi digitali: lo spazio del progetto e il problema dell'ottimizzazione. La sintesi ad alto livello: derivazione di Data Flow Graph e Control Flow Graph dall'algoritmo. Il trasporto dell'algoritmo su una architettura; Data Path e Controllo. I problemi di scheduling e allocazione: tecniche di ottimizzazione e parametri di valutazione.
6. Il progetto dei sistemi dedicati: flusso del progetto, problemi e approcci risolutivi. I concetti-base: specifica, allocazione su un'architettura, partizionamento, cosimulazione. Il problema delle specifiche: soluzioni per la specifica formale di sistema; simulazione e validazione delle specifiche.
7. I problemi di "hardware-software co-design": specifica, allocazione, partizionamento, cosimulazione, cosintesi. Soluzioni e scelte alternative; parametri di valutazione.
8. Metodi formali per il progetto di strutture digitali corrette. "Dimostrazione" (Proofing). Soluzioni algebriche; applicazione ad approcci di progetto gerarchici. Valutazione dei costi dei progetti finali. Strumenti.

Gli studenti avranno accesso a strumenti software per il progetto e il collaudo disponibili o presso il Centro di Calcolo del Politecnico o presso il Laboratorio di Microarchitetture del Dipartimento di Elettronica. Per sostenere l'esame è richiesto lo sviluppo di un elaborato, che potrà essere svolto anche usando tali strumenti. L'esame consta della discussione dell'elaborato e di una prova orale.

*Testi consigliati*

Verranno distribuiti gli appunti del corso e una bibliografia di riferimenti (testi e articoli) reperibili presso la Biblioteca del Dipartimento. In particolare, si rimanda ai seguenti testi:

M.Abramovici, M.A.Breuer, A.D.Friedman: *Digital Systems Testing and Testable Design*, Computer Science Press, 1993

D.Gajski, N.Dutt, A.Wu, S.Lin: *High-level Synthesis: introduction to Chip and System Design*, Kluwer Academic Publishers Boston, 1992.

G. De Micheli: *Synthesis and Optimization of Digital Circuits*, Mc Graw-Hill International Editions, 1994.

**SISTEMI DI PRODUZIONE AUTOMATIZZATI****AQ0103****Prof. Marco GARETTI***Programma d'esame***1. CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI DI PRODUZIONE INDUSTRIALE.**

- Tipologia dei sistemi produttivi
- Disposizione delle stazioni operative e tipologia delle soluzioni automatizzate

**2. RICHIAMI DI INFORMATICA INDUSTRIALE.**

- Evoluzione dei sistemi informatici per la fabbrica
- Sistemi distribuiti e reti di fabbrica

**3. AUTOMAZIONE DELLE PRODUZIONI DI PROCESSO.**

- 3.1) Misura, acquisizione e trattamento di dati dal campo
- 3.2) Sistemi per il controllo dei processi con calcolatore
  - controllo distribuito
  - architetture di controllo (monitoraggio, controllo digitale diretto, controllo di supervisione)
  - esempi di applicazioni in diverse tecnologie di processo
- 3.3) Computer integrated manufacturing (CIM) nelle produzioni di processo

**4. AUTOMAZIONE DELLE PRODUZIONI MANIFATTURIERE.**

- 4.1) Sistemi manifatturieri automatizzati per la fabbricazione (FMS, transfer lines, celle e linee robotizzate):

- architetture di sistema, moduli componenti, esempi di applicazioni in diverse tecnologie produttive

## 4.2) Robot industriali

- richiami su tipi, soluzioni e metodi di programmazione
- criteri di applicazione nei sistemi automatizzati

## 4.3) Sistemi manifatturieri automatizzati per il montaggio (FAS, sistemi dedicati, sistemi robotizzati):

- moduli componenti (macchine, buffer, attrezzature, sistemi di alimentazione e di movimentazione)
- principi di progettazione e esempi industriali

## 4.4) Metodologie progettuali

- criteri generali di progettazione e scelta del grado di flessibilità di sistemi manifatturieri automatizzati

- applicazione di tecniche di dimensionamento e verifica progettuale di sistemi produttivi complessi (metodi ai valori medi, di teoria delle code, di simulazione)

4.5) Gestione operativa

- gestione operativa della produzione (scheduling)
- raccolta dati dal campo e controllo avanzamento (monitoring)
- scheduling in tempo reale

4.6) Controllo in tempo reale

- sottosistemi e funzioni del sistema di controllo in tempo reale
- soluzioni per il sistema di controllo in tempo reale

**5. COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING (CIM).**

- Architettura di sistemi CIM per l'automazione di processo e manifatturiera
- Standard industriali
- Gestione di progetti CIM

**6. TECNICHE AVANZATE PER LA PROGETTAZIONE E LA GESTIONE DEI SISTEMI DI PRODUZIONE.**

6.1) Knowledge based systems

6.2) Reti neurali

6.3) Altre tecniche

6.4) Sistemi produttivi intelligenti

**7. SICUREZZA DEI SISTEMI AUTOMATIZZATI.**

**8. CONVENIENZA ECONOMICA DI SISTEMI AUTOMATIZZATI.**

*Esercitazioni*

Il corso prevede lo svolgimento di una serie di visite industriali guidate, esercitazioni monografiche e seminari di esperti industriali.

*Modalità d'esame*

Esame orale.

*Libri consigliati*

M. Garetti, M. Taisch: *Sistemi di produzione automatizzati*, CUSL.

G. Quazza: *Controllo dei processi*, Clup, Milano.

A. Sianesi: *FMS: Sistemi di produzione per la fabbrica automatica*, ed. Il Rostro.

M. Groover: *Automation, production systems and computer aided manufacturing*, Prentice Hall.

H. J. Wamecke, R. Steinhilper: *Sistemi flessibili di produzione*, Tecniche Nuove.

R. Kerr: *Knowledge based manufacturing management*, Addison Wesley.

**SISTEMI ELETTRICI INDUSTRIALI**

**AH0110**

**Prof. Enrico TIRONI**

*Programma d'esame*

**Elettrotermia.**

Considerazioni generali e classificazione degli apparecchi elettrotermici.

Riscaldamento ad arco: principio di funzionamento; caratteristiche costruttive; schema elettrico equivalente; il diagramma circolare di funzionamento; regolazione dei forni ad arco; problemi di installazione e di funzionamento; applicazioni industriali.

Riscaldamento ad induzione: principio di funzionamento; caratteristiche costruttive; forni a bassa, media ed alta frequenza; schema elettrico equivalente e teorie semplificate del loro funzionamento; sistema di alimentazione; applicazioni industriali.

Riscaldamento a resistenza: riscaldamento di tipo diretto ed indiretto; caratteristiche costruttive; resistori e relativi criteri di progetto; applicazioni industriali.

Riscaldamento per perdite dielettriche: principio di funzionamento; campo di applicabilità e cenni sulle applicazioni industriali; problemi di alimentazione.

Il collegamento alla rete dei forni elettrici: rifasamento, filtraggio dei disturbi ed equilibratura dei forni monofasi; controllo statico di potenza attiva e reattiva.

#### **Azionamenti industriali.**

Definizione di azionamento. Caratteristiche principali di macchine elettriche ad induzione e in corrente continua.

Avviamento e frenatura elettrica. Convertitori statici.

Azionamenti in C.C. e azionamenti in C.A. a tensione e a corrente impressa: caratteristiche di funzionamento. Controllo di velocità, di coppia e di potenza: principi fondamentali.

Applicazioni industriali. Disturbi immessi in rete dagli azionamenti: sistemi di filtraggio e criteri di progetto dei filtri.

#### **Sicurezza degli impianti utilizzatori in bassa e media tensione.**

Richiami alle norme CEI ed alla legislazione antinfortunistica vigente. Effetti della corrente elettrica nel corpo umano. Tensioni ammissibili. Classificazione dei sistemi elettrici. Criteri di protezione contro i contatti indiretti e diretti: sistemi di protezione di tipo passivo e di tipo attivo.

Progetto, esecuzione e verifica degli impianti di terra.

#### **Illuminotecnica.**

Richiami generali di ottica e principi di fotometria: proprietà dell'occhio umano ed aspetti energetici della sensazione visiva.

Le sorgenti luminose: tipi di lampade, loro caratteristiche fisiche ed elettriche.

Gli apparecchi di illuminazione.

Criteri di progetto di impianti di illuminamento per ambienti aperti e chiusi.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni sono del tipo numerico e grafico.

#### *Libri consigliati*

V. Carrescia: *Fondamenti di sicurezza elettrica*, Ed. HOEPLI Milano, 1984.

L. Richard: *Elementi di illuminotecnica*, AIDI, Milano, 1971.

L. Di Stasi: *Forni elettrici*, ed. Pàtron, Bologna-Padova, 1976.

Appunti alle lezioni disponibili presso il Dipartimento di Elettrotecnica relativi ad: Elettrotermia, Illuminotecnica, Azionamenti, Controllo della potenza attiva e reattiva.

#### *Note per gli studenti*

Gli argomenti trattati nel corso delle esercitazioni fanno parte integrante del programma e potranno essere oggetto di interrogazione all'esame. Si consiglia vivamente la frequenza alle lezioni ed esercitazioni essendo la materia trattata in via evolutiva e non sufficientemente coperta dai testi esistenti.

**SISTEMI ELETTRICI PER I TRASPORTI****AH0107***(ex Trazione Elettrica)***Prof. Dario ZANINELLI***Programma d'esame*

**Introduzione.** La trazione elettrica nei trasporti ferroviari e stradali; caratteristiche dei principali sistemi. Limiti di convenienza. La parte meccanica dei veicoli a trazione elettrica; moto dei veicoli e organi di rotolamento; aderenza; resistenze al moto; caratteristica meccanica; diagramma di trazione. Circolazione ferroviaria. Trasmissione del moto dai motori alle ruote; comando singolo degli assi; carrelli monomotori.

**Il sistema a corrente continua.** Il motore di trazione a collettore; caratteristiche costruttive e di funzionamento; regolazione della velocità; commutazione, dimensionamento e comportamento termico; definizione della potenza nominale. Circuito di trazione e sistemi di comando, loro funzioni. Prese di corrente; il problema della captazione ad alta velocità. Equipaggiamenti tradizionali: inversione di marcia; avviamento reostatico; indebolimento di campo; collegamento serie/parallelo dei motori. Azionamenti elettronici: impiego del ffrazionatore; schemi di alimentazione dei motori; armoniche in linea. La frenatura elettrica, reostatica e a recupero. Ausiliari e loro alimentazione; gruppi convertitori. Alimentazione delle linee elettrificate in corrente continua. Schemi di principio delle sottostazioni di conversione; gruppi raddrizzatori, accenno alle loro caratteristiche costruttive e di funzionamento; regolazione di tensione; gruppi invertitori; sottostazioni reversibili. Linee di contatto: calcolo elettrico e caratteristiche costruttive. Il problema delle correnti vaganti; disturbi provocati dalle linee elettrificate.

**Il sistema a corrente alternata monofase.** Mezzi di trazione con motori monofasi a collettore. Mezzi di trazione a raddrizzatori; il problema del fattore di potenza e delle armoniche; ripercussioni sugli impianti di alimentazione, a frequenza industriale e a bassa frequenza; schemi adottati. Frenatura elettrica. Ausiliari. Alimentazione delle linee elettrificate a corrente alternata monofase a bassa frequenza: rete primaria; sottostazioni. Alimentazione delle linee a frequenza industriale; il problema degli squilibri; schemi di collegamento delle sottostazioni. Linee di contatto monofasi. Disturbi.

**Trazione diesel elettrica.** Mezzi di trazione diesel elettrici: utilizzazione della potenza del motore diesel; caratteristiche dei generatori; limiti di potenza; sistemi di regolazione. Caratteristica meccanica dei veicoli. Ausiliari.

**Azionamenti trifasi asincroni.** Applicazioni nella trazione elettrica a corrente continua e a corrente alternata monofase e nella trazione diesel elettrica degli azionamenti trifasi asincroni a frequenza variabile; caratteristica meccanica, in marcia e in frenatura. Caratteristiche e criteri di impiego dei convertitori a tensione impressa, monostadio e bistadio, e dei convertitori a corrente impressa. Convertitori d'ingresso usati nella trazione monofase.

**Azionamenti trifasi sincroni.** Applicazioni nella trazione elettrica degli azionamenti autosincroni. Schemi di principio; commutazione naturale e assistita; caratteristica meccanica. Confronto con gli azionamenti trifasi asincroni.

**Interconnessione** tra reti elettrificate con sistemi diversi. Mezzi di trazione ad alimentazione polifase.

*Esercitazioni*

Gli allievi dovranno svolgere un elaborato numerico e grafico avente per oggetto veicoli ferroviari a corrente continua.

*Libri consigliati*

F. Perticaroli: *Sistemi elettrici per i trasporti*, ed. Masson - 1993, Milano.

**SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA****AH0116****Prof. Andrea SILVESTRI***Programma d'esame***1) Struttura e analisi dei sistemi elettrici per l'energia. Metodologie di studio in regime alternato sinusoidale.**

Costituzione di un sistema di produzione, trasmissione, distribuzione e utilizzazione dell'energia elettrica. Definizione di impianto elettrico secondo le norme CEI (cenni ai problemi di normalizzazione e unificazione elettrica e agli enti nazionali e internazionali a ciò preposti: CEI, IEC, CENELEC, UNEL, ISO, ecc.).

Struttura e modelli della parte passiva di un sistema: linee aeree, condensatori, reattori, cavi, trasformatori, carichi.

Elementi per lo studio del funzionamento a regime di un sistema elettrico: matrici delle ammettenze e delle impedenze nodali, loro costruzione, cambiamenti di struttura della rete.

Ripartizione dei flussi di potenza a regime: equazioni del bilancio delle potenze ai nodi, formulazione matematica e metodi di risoluzione del problema del load-flow.

Linee corte in media e bassa tensione: parametri fondamentali, caduta di tensione, rifasamento.

Guasti simmetrici e dissimmetrici: impedenze di sequenza dei vari componenti, reti di sequenza, guasti in derivazione (cortocircuiti) e in serie (interruzioni di fasi).

**2) Protezioni e sicurezza negli impianti elettrici.**

Esigenze degli organi di interruzione e di manovra. Cenni al problema dell'interruzione e agli organi di interruzione: sezionatori, contattori, interruttori (in aria, in olio, in aria compressa, a esaffloruro, a celle deionizzanti, a vuoto). Fusibili. Relè: definizioni e classificazioni, cenni ai tipi costruttivi. Protezioni delle linee e del macchinario contro le sovracorrenti.

**3) Schemi elettrici.**

Elementi generali per lo studio degli schemi elettrici: segni grafici, vari tipi di schemi e modalità di tracciamento. Schemi funzionali.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni riguardano lo sviluppo sia di esempi numerici sulla base della teoria esposta nelle lezioni, sia di schemi elettrici redatti secondo le Norme CEI.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di una prova orale. Il risultato della prova scritta non è determinante per la valutazione complessiva.

*Libri consigliati*

Marin-Vaitorta: *Trasmissione ed interconnessione*, CEDAM, Padova.

Marconato: *Sistemi elettrici di potenza*, CLUP, Milano.

Faletti, Chizzolini: *Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica*, Pàtron, Bologna.

## Altri testi utili:

Iliceto: *Impianti elettrici*, Pàtron, Bologna.

Elgerd: *Electric Energy Systems Theory: an Introduction*, McGraw-Hill.

Stevenson: *Elements of Power System Analysis*, McGraw-Hill.

**SISTEMI INFORMATIVI****AG0204****Prof. Giampio BRACCHI***Programma d'esame*

**1. Richiami sull'architettura dei sistemi informativi su elaboratore.** Il concetto di applicazione. Struttura del sistema informativo: processi di elaborazione e basi di dati. Elaborazione a lotti, interattiva e in tempo reale. Architetture distribuite e client-server. Reti locali e reti geografiche. Modello di riferimento ISO-OSI. Servizi telematici a valore aggiunto. Sicurezza nei sistemi informativi. Esempi di architetture distribuite di sistemi informativi.

**2. Il portafoglio delle applicazioni informatiche.** Le classi di applicazioni informatiche. Il portafoglio applicativo delle aziende industriali e di servizi, delle banche e degli enti pubblici. Analisi funzionale dell'automazione: copertura, grado di automazione, integrazione. Fabbisogno informativo e automazione del sistema informativo.

**3. Analisi del progetto del sistema informativo.** Fondamenti logici di progettazione. I meccanismi di modellazione del sistema informativo. Fasi e strumenti dell'analisi preliminare. Analisi dei requisiti informativi. Livelli di descrizione e specificazione dei sistemi informativi e delle applicazioni informatiche in genere.

**4. Progetto del sistema informativo.** Approcci ai progetti. Schema generale del ciclo di vita dei progetti. Progetto dei processi e progetto dei dati. Analisi delle attività, delle informazioni e delle funzioni elaborative. Richiami sul ciclo di vita del software. Il progetto della architettura di elaborazione. Il progetto di sistemi informativi per il supporto direzionale e per il controllo di gestione.

**5. Metodologie di progettazione.** Sviluppo di un progetto con la metodologia AD. Metodi di analisi: diagrammi di flusso tradizionali, data-flow-diagrams, diagrammi ISAC e SADT, Information Control Nets, modelli complessi. Specificazione dei processi di elaborazione. Progetto concettuale e logico di basi di dati. Metodi assistiti da elaboratore per l'analisi e la progettazione di sistemi informativi.

*Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni numeriche e verrà sviluppato un progetto di sistema informativo.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale preceduta da esercizi scritti. Al termine delle lezioni verrà proposta una prova scritta facoltativa che, se svolta con esito favorevole, costituirà elemento di giudizio per l'assegnazione del voto.

*Libri consigliati*

\* G.Bracchi, G.Motta: *Sistemi informativi e imprese*, Franco Angeli, Milano 1986

G.Bracchi, G.Motta: *Progetto di sistemi informativi*, ETAS Libri, Milano, 1993

G.Coulouris, J.Dollimore, T.Kindberg: *Distributed Systems Concepts and Design* Addison-Wesley, 1994

\* *Parti del testo che costituiscono programma d'esame:*

Cap. 4 *Sviluppo delle teorie sui sistemi informativi.*

Cap. 5 *Profilo dei sistemi informativi nelle imprese.*

Cap. 6 *Spesa ed investimenti informatici nelle imprese: uno schema di analisi.*

Cap. 9 *Costo dei progetti: uno schema di analisi.*

Cap. 10 *Analisi dei progetti.*

Cap. 11 *Pianificazione dei sistemi.*

**SISTEMI INTEGRATI DI PRODUZIONE****AR0136****Prof. Francesco JOVANE***Programma d'esame***1. Il sistema produttivo e il suo contesto.**

L'evoluzione dei prodotti e dei mercati. L'impresa rete. Il ciclo di vita del prodotto e la produzione sostenibile. Il ciclo di vita del sistema produttivo. Integrazione di Prodotto/Processo/Sistema. Il ciclo ricerca-innovazione.

**2. Elementi materiali di un SIP**

Teoria delle trasformazioni. Quadro riassuntivo dei processi esistenti. Un processo emergente : lo smontaggio. L'evoluzione dei rapporti uomo-macchina.

Machining centres, Macchine di misura a coordinate (CMM), Sistemi di trasporto, Attrezzature, Utensili, Sensori, Sistemi di trasformazione delle informazioni. Il problema della modularità dei sistemi produttivi.

**3. Elementi immateriali di un SIP**

*Prodotto.* Concurrent engineering, Codesign, Design for..., Rapid prototyping, Computer Aided Design (CAD). Il prodotto nell'impresa rete.

*Processo* Computer Aided Process Planning-CAPP (variante, generativo)/CAM Computer Aided Manufacturing.

*Sistema* Gestione flussi (fisici, informativi).

**4. Configurazione di un SIP**

Metodi di rappresentazione (IDEF, GRAI,...).

Analisi (simulazione, metodi analitici, metodi approssimati).

Valutazione (AHP, analisi flessibilità, valutazione economica).

Criteri di configurazione.

*Esercitazioni*

Esercitazioni numeriche sulle singole parti del corso. Esempi di configurazione di Sistemi Integrati di Produzione. Visite in realtà produttive.

*Libri consigliati*

Dispense del corso.

William W. Luggen, *Flexible Manufacturing Cells and Systems*, Prentice Hall, 1991

George Chryssolouris, *Manufacturing Systems Theory and Practice*, Springer-Verlag, 1992

B. Wu, *Manufacturing System Design and Analysis*, Chapman & Hall, 1992

N. Viswanadham, Y. Narahari, *Performance Modelling of Automated Manufacturing Systems*, Prentice Hall, 1992.

**SISTEMI OPERATIVI (1/2 annualità, 1)****AG0261****Prof. Vincenzo PIURI***Programma d'esame**Contenuto del Corso*

Il corso di Sistemi operativi (prima semi-annualità) descrive i componenti che forniscono il supporto per la gestione di un sistema di elaborazione e per l'esecuzione di programmi utente. Vengono trattati i concetti di base e l'architettura di un sistema operativo, analizzandone le funzionalità, le politiche di gestione e i meccanismi. Oltre a sistemi operativi per diverse classi di architetture hardware tradizionali, vengono presentate anche le problematiche inerenti i sistemi di elaborazione paralleli e distribuiti, le reti informatiche, e la tolleranza ai guasti.

- 1. Introduzione ai sistemi operativi:** Tipi e struttura; funzioni caratteristiche; meccanismi di gestione; architetture di base; sistemi multiprocessore; sistemi distribuiti.
- 2. Programmazione concorrente:** Processi e strutture dati; meccanismi e politiche per la gestione concorrente, per la sincronizzazione e per la comunicazione; costrutti linguistici per la programmazione concorrente; problema di gestione di processi concorrenti (deadlock, starvation).
- 3. Gestione del processore:** Politiche di gestione (sistemi monoprocesso, sistemi multiprocessore, sistemi distribuiti); schedulazione;
- 4. Gestione della memoria centrale:** Tipologie; meccanismi di gestione (partizionamento, paginazione, segmentazione); politiche di gestione; memorie gerarchiche; gestione di memoria in sistemi paralleli e distribuiti.
- 5. Gestione dei dispositivi di ingresso/uscita:** Tipologie; meccanismi e politiche di gestione; orologio; ordinamento temporale in sistemi distribuiti; coordinamento; dischi; politiche di gestione degli accessi ai dischi; terminali; stampanti; periferiche speciali.
- 6. Gestione del file System:** Strutture; politiche di gestione, delle allocazioni; tecniche di protezione e sicurezza; network file System.
- 7. Interprete comandi e interfaccia utente:** Tipi di interpreti e interfacce utente; meccanismi e politiche di gestione dell'interfaccia utente; tecniche di gestione e sicurezza degli accessi; sistemi transazionali.
- 8. Gestione di reti informatiche:** Tipologie di interconnessione; protocolli; standard di comunicazione in ambienti eterogenei.

*Libri di testo*

A. Tanenbaum: *Modem Operating Systems*, Prentice-Hall, 1992.

*Libri consigliati*

- A. Silbershatz, J. Peterson, P. Galvin: *Operating System Concepts*, Addison Wesley, 1991.  
H.M. Deitei: *Operating Systems*, Addison Wesley, 1990.  
G.F. Coulouris, J. Dollimore: *DistributedSystem*, Addison Wesley, 1991.  
M. Bach: *The Design of the UNIX Operating System*, Prentice Hall, 1986.  
B. Kemigham, R. Pike: *The UNIX Programming Environment*, Prentice Hall, 1984.  
W.R. Stevens: *UNIX Network Programming*, Prentice Hall, 1990.  
P. Ancillotti, M. Boari: *Principi e Tecniche di Programmazione Concorrente*, UTET, 1987.

*Modalità d'esame*

L'esame è costituito da una prova scritta (contenente domande relative agli argomenti trattati nell'intero corso) e da un progetto (riguardante l'uso di componenti e strumenti di un sistema operativo - eventualmente coordinato con il corso di Sistemi Operativi 2).

**SISTEMI OPERATIVI (1/2 annualità, 2)****AG0262****Prof. Vincenzo PIURI***Programma d'esame**Contenuto del Corso*

Il corso di Sistemi operativi (seconda semi-annualità) è orientato ad approfondire le conoscenze dei temi trattati nella prima semi-annualità, in particolare per quanto riguarda la descrizione, la progettazione e l'ottimizzazione dei componenti software che forniscono il supporto per la gestione di un sistema di elaborazione e per l'esecuzione di programmi utente. Vengono trattati concetti avanzati, architetture, tecniche di progetto, criteri di valutazione, tecniche di ottimizzazione per strutture sia tradizionali, sia parallele, sia distribuite.

- 1. Introduzione alla progettazione di sistemi operativi:** Approfondimenti architetture; tecniche di progettazione; definizione delle specifiche; aspetti avanzati (parallelismo, distribuzione, tolleranza ai guasti); criteri di valutazione.
- 2. Programmazione concorrente e distribuita:** Meccanismi e politiche per la gestione concorrente e distribuita, per la sincronizzazione e per la comunicazione; costrutti linguistici per la programmazione concorrente in architetture monoprocesso, multiprocesso e distribuite; problemi di gestione di processi concorrenti (deadlock, starvation); politiche di ottimizzazione della gestione dei processi.
- 3. Gestione del processore:** Politiche avanzate di gestione (sistemi monoprocesso, sistemi multiprocesso, sistemi distribuiti); schedulazione; network computing System; valutazione; tecniche di progettazione e algoritmi.
- 4. Gestione della memoria centrale:** Politiche avanzate di gestione (sistemi monoprocesso, sistemi multiprocesso, sistemi distribuiti); valutazione; tecniche di progettazione e algoritmi.
- 5. Gestione dei dispositivi di ingresso/uscita:** Politiche avanzate di gestione (sistemi monoprocesso, sistemi multiprocesso, sistemi distribuiti); valutazione; tecniche di progettazione e algoritmi.
- 6. Gestione del file System:** Politiche avanzate di gestione, protezione e sicurezza (sistemi monoprocesso, sistemi multiprocesso, sistemi distribuiti); network file System; condivisione di file; elementi di gestione delle basi di dati; valutazione; tecniche di progettazione e algoritmi.

**7. Interprete comandi e interfaccia utente:** Politiche avanzate di gestione dell'interfaccia utente; tecniche di gestione e sicurezza degli accessi; sistemi transazionali; valutazione; tecniche di progettazione e algoritmi.

**8. Gestione di reti informatiche:** Meccanismi e politiche avanzate di gestione; valutazione; tecniche di progettazione e algoritmi.

**9. Analisi di casi:** Unix; OS/2; MS-DOS; Macintosh; VM; VMS; Open Systems; Windows; NetWare; LanManager; Amoeba; Mach.

#### *Libri di testo*

A. Tanenbaum: *Modem Operating Systems*, Prentice-Hall, 1992.

#### *Libri consigliati*

A. Silbershatz, J. Peterson, P. Galvin: *Operating System Concepts*, Addison Wesley, 1991.

H.M. Deitei: *Operating Systems*, Addison Wesley, 1990.

G.F. Coulouris, J. Dollimore: *Distributed Systems*, Addison Wesley, 1991.

M. Bach: *The Design of the UNIX Operating System*, Prentice Hall, 1986.

B. Kemigham, R. Pike: *The UNIX Programming Environment*, Prentice Hall, 1984.

W.R. Stevens: *UNIX Network Programming*, Prentice Hall, 1990.

P. Ancillotti, M. Boari: *Principi e Tecniche di Programmazione Concorrente*, UTET, 1987.

#### *Esercitazioni*

Gli aspetti teorici, algoritmici e progettuali verranno approfonditi mediante esercitazioni guidate. Verranno assegnate esercitazioni progettuali sperimentali. Studenti particolarmente motivati potranno approfondire le conoscenze sperimentali con la progettazione e la realizzazione di un semplice sistema operativo distribuito dedicato ad applicazioni in tempo reale.

#### *Modalità d'esame*

L'esame è costituito da una prova scritta (contenente domande relative agli argomenti trattati nell'intero corso) e da un progetto (riguardante la progettazione e lo sviluppo di componenti e strumenti di un sistema operativo - eventualmente in coordinamento con il corso di Sistemi Operativi 1).

## **SISTEMI ORGANIZZATIVI (A)**

**000870**

**Prof. Pierluigi BONTADINI**

#### *Programma d'esame*

**Il corso si propone di favorire lo sviluppo di uno schema di analisi, per la comprensione dei processi e dei sistemi organizzativi, al fine di valutare situazioni aziendali e di alta organizzazione, dal punto di vista dell'operatore e dell'intervento correttivo.**

**1. Natura e dinamiche delle organizzazioni complesse.** La divisione del lavoro e i processi di integrazione.

**2. L'approccio sistemico all'analisi delle organizzazioni.** Sistemi aperti e sistemi chiusi. La razionalità limitata. L'equilibrio organizzativo.

**3. Le dimensioni analitiche dei sistemi organizzativi:** logico-operative, psicologica, socio-culturale.

**4. La dimensione logico-operativa:** standardizzazione, specializzazione, razionalità dei flussi operativi.

Le caratteristiche delle mansioni: prevedibilità, variabilità, ed interdipendenze. Proprietà, dimensione e combinazioni produttive d'azienda.

**5. La dimensione psicologica:** il rapporto tra individuo e organizzazione. Motivazione, aspettative, sistemi di incentivazioni.

**6. La progettazione delle strutture organizzative.** Tipologia e criteri di scelte delle strutture. I rapporti tra strategia e struttura.

**7. Autorità, potere e stile di direzione.** Il processo decisionario e il processo di comunicazione.

**8. La visione globale della dinamica e degli assetti organizzativi.** Le relazioni organizzative interaziendali. La cultura organizzativa. Il cambiamento e lo sviluppo organizzativo.

#### *Libri consigliati*

*Manuale di organizzazione*, a cura di P. Bontadini, ISEDI, parte I-II-IV.

Elliott Jaques, *L'organizzazione indispensabile*, Guerrini & Associati, Milano, 1991.

Gareth Morgan, *Images. Le Metafore dell'organizzazione*, ed. F. Angeli, Milano, 1989.

Vincenzo Perrone, *Le strutture organizzative d'impresa*, Egea, Milano, 1990.

## **SISTEMI ORGANIZZATIVI (B)**

**000871**

**Prof. Piero MIGLIARESE**

#### *Programma d'esame*

Il corso fornisce strumenti e metodi di analisi e progettazione dell'organizzazione aziendale. Vengono descritte le implicazioni e i requisiti organizzativi di alcune tecnologie (automazione, informatica) ai fini di una progettazione che consideri congiuntamente le variabili tecniche ed organizzative. Vengono presentati alcuni casi aziendali.

### **1. Organizzazione aziendale.**

Concetti e variabili di base. Specializzazione dei compiti e integrazione. Impresa e ambiente. I modelli di sistema aperto e di sistema chiuso. L'organizzazione come rete di scambi e di relazioni all'interno e con l'ambiente.

### **2. Analisi e progettazione organizzativa.**

**Le variabili organizzative:** struttura organizzativa, sistemi organizzativi e stile di direzione. Distinzione e legami con le variabili sociali, tecniche e istituzionali. I principi di coerenza dinamica.

**Le strutture organizzative.** Strutture organizzative canoniche: richiami ed approfondimenti.

Strutture organizzative avanzate: per processo, a matrice, a rete. Lavoro di gruppo. Modalità di coordinamento. Organizzazione del lavoro. Criteri di progettazione di mansioni e ruoli. Modelli e tendenze.

**I Sistemi organizzativi.** I sistemi dinamici dell'organizzazione. Processi di pianificazione e controllo. Processi di decisione. Sistemi di coordinamento. La dimensione operativa dei sistemi organizzativi: prevedibilità e standardizzazione, la razionalizzazione dei flussi di lavoro, la progettazione di procedure organizzative. Sistemi avanzati di mutuo aggiustamento. Modelli innovativi di gestione delle risorse umane, l'innovazione e la programmazione del personale. Retribuzione, motivazione, incentivi.

**Stile di direzione.** Gerarchia, leadership e aspetti comportamentali dell'organizzazione d'impresa.

### **3. Organizzazione e tecnologia.**

I rapporti tra tecnologia e organizzazione: modelli e variabili di progettazione. Studio di casi rappresentativi della situazione industriale. Il problema del coordinamento e il ruolo delle tecnologie

dell'informazione. Schemi e metodi di progettazione integrata tecnico-organizzativa. Le attuali tendenze nei modelli organizzativi: flessibilità, lavoro di gruppo, strutture piatte, coordinamento laterale, interfunzionalità.

#### *Libri consigliati*

H. Mintzberg, *La progettazione dell'organizzazione aziendale*, Il Mulino, 1985

J. Thompson, *L'azione Organizzativa*, ISEDI, 1988

E.A. Gerloff, *Strategie Organizzative*, McGraw Hill 1991

A. Grandori, *Organizzazione delle Attività Economiche*, Il Mulino, 1995.

P. Migliarese, C. Feñoli, *Esercizi e Temi di esame risolti di Economia ed Organizzazione Aziendale*, Cusl Politecnico, 1994

## **SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI E DELLE STRUTTURE (A)**

**AN0052****Prof. Paolo SETTI**

#### *Programma d'esame*

##### **1) Misure e strumenti di misura.**

- Problemi relativi alla misura di grandezze fisico-meccaniche e geometriche;
- Principali metodi di analisi sperimentale;
- Apparecchiature e strumenti di misura;
- Elaborazione e interpretazione dei risultati sperimentali.

##### **2) Sperimentazione sui materiali.**

- Caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali di importanza progettuale;
- Caratteristiche principali delle macchine di prova;
- Prove di laboratorio di tipo standard;
- Prove speciali.

##### **3) Sperimentazione su strutture.**

###### **3.1 Prove di laboratorio.**

- Richiami di teoria dei modelli;
- Introduzione alla sperimentazione su modelli di strutture;
- Introduzione alla sperimentazione su elementi strutturali o su parti, al vero, di strutture.

###### **3.2 Prove su strutture.**

- Metodi di rilevazione del comportamento statico e dinamico di strutture al vero;
- Il collaudo statico;
- Simulazione del comportamento strutturale in condizioni particolari (incendio, sisma, vento, ecc.);
- Sperimentazione per via numerica.

##### **4) Affidabilità strutturale e controllo di qualità.**

- Richiami di statistica e di teoria delle probabilità;
- Controllo di qualità sui materiali;
- Controllo di qualità sui componenti.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni sono dedicate all'applicazione dei temi trattati e all'illustrazione di esperienze significative.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in un prova orale.

*Libri consigliati*

Durante il corso verranno indicati i riferimenti bibliografici dei singoli argomenti.

**SPERIMENTAZIONE DI STRUTTURE AERONAUTICHE**

**AL0112**

**Prof. Luigi SALMONI**

*Programma d'esame*

1 - Generalità - Logica della sperimentazione - Strumento di misura generalizzato - sistemi per la acquisizione e memorizzazione dei dati - Analisi degli errori di misura - Analisi delle serie temporali - Progetto di una prova - Criteri di scelta degli strumenti. Analogia elettronica e simulazione - Misure di deformazione, spostamento, velocità, accelerazione.

2 - Prove statiche strutturali - Scopo delle prove statiche su strutture aeronautiche - Requisiti di prova in funzione del livello dei carichi applicati - Sistemi e modalità di applicazione dei carichi - Modalità di vincolo della struttura in prova - Attrezzature e loro criteri generali di progetto - Grandezze fisiche caratterizzanti le prove e strumentazione relativa - Valutazione delle evidenze sperimentali riscontrate.

3 - Prove di analisi modale - Scopo dell'analisi modale - Fase di pre-test mediante analisi ad Elementi Finiti: scelta dei punti di misura e di eccitazione - Acquisizione delle funzioni di risposta in frequenza: forzanti impulsive, armoniche, random e miste; eccitatori meccanici ed elettrodinamici; modalità di vincolo rigide e free-free - Identificazione dei parametri modali: funzioni di correlazione; metodi multi ingresso nel dominio del tempo e delle frequenze - Validazione del modello modale - Correlazione con i risultati numerici: aggiornamento del modello ad elementi finiti.

4 - Prove di fatica sulle strutture aeronautiche - Revisione delle filosofie di analisi della fatica aeronautica - Prove "flight by flight" - Studio delle storie di carico da applicare durante le prove - Sistemi di applicazione dei carichi - Calendario delle ispezioni e metodi per le stesse - Prove su elementi strutturali "a vita infinita".

5 - Prove dinamiche sui carrelli di atterraggio - Rappresentatività delle prove di caduta - Parametri caratterizzanti la prova - Attrezzature di prova - Acquisizione dei risultati - Messa a punto del sistema deformabile.

6 - Aspetti strutturali connessi con le prove di volo - Rilievi in volo di carichi, azioni interne e sforzi - Caratterizzazione modale - Flutter - Implicazioni strutturali nelle prove di prestazioni e di qualità di volo.

7 - Aspetti strutturali connessi con le prove in galleria del vento - Similitudine elastica ed aeroelastica - Soluzioni tipiche per i modelli deformabili - Prove di flutter e di divergenza.

*Libri consigliati*

M. Hetenyi - *Handbook of Experimental Stress Analysis* - Wiley

A. Pope - *Wind Tunnel Testing* - Wiley

J. Renaudie - *Essais en voi* - Dunod Parigi, voi 1 e 2

Doebelin - *Measurement Systems* - McGraw Hill.

C.L. Nachtigal - *Instrumentation and Control* - Wiley

**SPERIMENTAZIONE INDUSTRIALE E IMPIANTI PILOTA**  
**Prof. Enrico TRONCONI****AF0105***Programma d'esame***1. Fondamenti di statistica.**

Distribuzioni empiriche. Teoria della probabilità. Distribuzioni di variabili casuali: normale,  $x^2$ ,  $t$  di Student,  $F$  di Fischer. Stima puntuale e per intervalli fiduciarie. Test di inferenza statistica.

**2. Analisi di regressione e stima dei parametri.**

Regressione lineare semplice, regressione lineare multipla, regressione non lineare: stima dei parametri e analisi di regressione completa.

**3. Programmi di prove.**

Semplici esperimenti di confronto. Programmi di prove per confrontare più di due trattamenti. Disegni fattoriali completi e frazionati. Disegni sequenziali per discriminare tra modelli rivali e per migliorare la precisione di stima dei parametri.

**4. Impianti pilota.**

Modellazione di sistemi de'ingegneria chimica. Analisi dimensionale. Analisi di regime. Criteri di similitudine. Criteri di scale up. Esempi.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni, teoriche e pratiche, verteranno su esemplificazioni di argomenti trattati durante le lezioni. In alcuni casi è previsto allo scopo l'utilizzo di software applicativo su PC.

*Testi consigliati*

P. Forzatti, E. Tronconi: *Programmazione della sperimentazione industriale chimica*, CLUP (Milano), 1989.

**SPERIMENTAZIONE SUI PROPULSORI**  
**Prof. Aldo COGHE****AK0115***Programma d'esame*

**1. La Sperimentazione.** Necessità e logica dell'indagine sperimentale. Sperimentazione sui propulsori: prove al banco e su modelli di laboratorio. Progetto dell'esperienza.

**2. La Misura.** Procedure di misura. Errori sistematici e accidentali. Fenomeni deterministici e casuali. Processi stazionari e non stazionari. Fondamenti dell'analisi statistica: medie, funzioni di distribuzione, correlazioni. Determinazione degli errori di misura. Procedure di interpolazione e linearizzazione dei dati.

**3. Il Trasduttore.** Principi generali. Definizione e classificazione dei trasduttori e dei sensori. Trasduttori potenziometrici, estensimetrici, LVDT, induttivi, capacitivi, resistivi, piezoelettrici, termoelettrici, fotoelettrici, ottici. Trasduttori digitali di spostamento.

**4. Lo Strumento di misura.** Classificazione e criteri di scelta degli strumenti di misura. Caratteristiche statiche e dinamiche. Funzione di trasferimento, risposta in frequenza, analisi di Fourier. Modulazione e filtraggio del segnale. Compensazione dinamica. Principi del campionamento e procedure di conversione A/D.

**5. Sperimentazione sui propulsori.** Grandezze termofluidodinamiche fondamentali. Rilievo delle prestazioni. Criteri di scala e di similitudine. Banche prova. Misure globali e locali. Concetti generali di combustione turbolenta e fluidodinamica delle macchine. Definizione dei parametri misura-

bili: valori medi, fluttuazioni turbolente, scale spaziali e temporali, spettro dell'energia e coefficienti di correlazione. Modalità di misura e procedure di acquisizione ed elaborazione dei dati.

**6. Misure meccaniche.** Misure di spostamento, deformazione, accelerazione e vibrazione. Analisi generale dei metodi di misura della spinta: sistemi statici e dinamici. Misure di coppia e velocità angolare. Dispositivi elettro-ottici. Metodi di analisi dei dati. Cenni sulle prove non distruttive.

**7. Misure di temperatura e flusso termico.** Il concetto di temperatura, scala internazionale pratica delle temperature, metodi di taratura. Misure di temperatura mediante sonde: termometri, termocopie, termoresistenze; errori dovuti alla conduzione ed all'irraggiamento. Misure di temperatura per via ottica: radiazione termica, pirometria, termografia all'infrarosso. Spettroscopia laser: fluorescenza, Raman e Rayleigh. Misure di flusso termico.

**8. Misure di pressione.** Analisi generale dei metodi di misura delle pressioni: sistemi statici e dinamici e loro modalità di taratura. Descrizione dei principali tipi di trasduttore e discussione critica sul loro impiego. Risposta dinamica delle connessioni pneumatiche. Problemi di misura delle pressioni statiche e dinamiche.

**9. Misure fluidodinamiche.** Tecniche di visualizzazione: Shadowgrafia, schlieren, olografia e diffusione elastica da particelle. Misure di velocità risolte nello spazio e nel tempo. Sonda di Pitot, anemometria a filo caldo e anemometria laser: principi di funzionamento e campi d'impiego. Esempi di applicazione ai propulsori. Altre tecniche laser: PIV, PDA. Misure in flussi bifase. Misuratori di portata per liquidi e gas. Misure di densità.

**10. Diagnostica dei propulsori.** Introduzione ai metodi teorico-sperimentali di diagnosi precoce dei malfunzionamenti e dell'usura dei propulsori. Strategie di manutenzione. Quadro sintetico delle metodologie di miglioramento dell'affidabilità e della sicurezza.

**11. Cenni ai problemi di misura dell'inquinamento prodotto dai gas di scarico e dal rumore.**

#### *Esercitazioni*

Consistono in esperienze di laboratorio ed esercizi numerici sugli argomenti trattati nel corso o nella discussione di esempi tipici di indagini sperimentali tratti dalla letteratura.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in un colloquio orale sugli argomenti in programma e sulla discussione di una esercitazione o esperienza di laboratorio svolta dallo studente.

#### *Libri consigliati*

Appunti delle lezioni

Holman J.P.: *Experimental methods for Engineering*, McGraw-Hill Book Co., 1994.

Figliola R.S. e Beasley D.E.: *Theory and Design for Mechanical Measurements*, J. Wiley, 1991.

Doebelin E.O.: *Measurement System: applications and design*, McGraw-Hill Book Co, N.Y., 1966

Pulci Doria G.: *Metodologie Moderne di Misure Idrauliche e Idrodinamiche*, CUEN, Napoli, 1992.

Bendat J.S., Piersol A.G.: *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, Wiley Interscience Inc., N.Y., 1971.

Gupta A.K. e Lilley D.G.: *Flowfield Modeling and Diagnostics*, Abacus Press, 1985.

Goldstein R.J.: *Fluid Mechanics Measurements*, Emisphere Publishing Co., 1983,

Hinze J.O.: *Turbulence*, McGraw-Hill Inc., N.Y., 1975.

Durst F., Melling A., Whitelaw J.H.: *Principles and Practice of Laser-Doppler Anemometry*, Academic Press, Londra, 1981.

Seippel R.G.: *Transducers, Sensors, and Detectors*, Reston Publishing Co. Inc., 1983.

Linuma K., Asanuma T., Ohsawz T. e Doj J.: *Laser Diagnostics and Modeling of Combustione* Springer-Verlag, 1987.

**STORIA DELL'ARCHITETTURA**  
**Prof.ssa Maria Antonietta CRIPPA**

AJ0100

*Programma d'esame*

Il corso sviluppa la storia dell'architettura e della tecnologia costruttiva contemporanea (sec. XIX e XX) e si svolge secondo una opportuna alternanza di:

a) lezioni con carattere fenomenologico-critico relative ai più importanti fatti costruttivi contemporanei, in un quadro cronologico che prende le mosse dalla rivoluzione industriale e dalle sue prime applicazioni e conseguenze (compositive e costruttive nel campo delle costruzioni, sociologiche e infrastrutturali in ambito urbanistico e territoriale) fino allo sviluppo delle correnti moderne e post-moderne;

b) lezioni con carattere di inquadramento culturale, tematico e cronologico relative alle questioni più rilevanti del periodo in esame, con approfondimento, in particolare, del costituirsi e del variare dei significati di termini critici orientativi quali "moderno", "contemporaneo", "tecnico", "tecnologico", ecc.; con l'esplorazione del rapporto tra l'esperienza costruttiva, sotto il profilo compositivo-linguistico e quello strutturale, e i temi più rilevanti della cultura contemporanea (teorie critiche, estetiche, sociologiche ...), della relazione tra norma costruttiva e dottrina architettonica, tra ambiente naturale e ambiente tecnico, tra storia dell'architettura e storia della tecnologia.

Il corso riguarda problemi e fatti internazionali ed italiani e dedica particolare attenzione ai rapporti e alle differenze tra questioni di formatività e composizione architettonica e questioni tecnologiche.

*Modalità d'esame*

Agli allievi viene richiesto un personale contributo di ricerca in base alle esercitazioni svolte, assegnato all'inizio del corso e oggetto del colloquio finale d'esame, insieme al programma svolto nelle lezioni. Sono previsti seminari didattici, per l'approfondimento di alcuni temi dell'Ottocento e Novecento.

*Testi per l'esame*

R. De Fusco: *Storia dell'architettura contemporanea*, Laterza, Bari, 1994

M.A. Crippa: *Storia dell'architettura*, Jaca Book, Milano, 1991

M.A. Crippa: *Storie e storiografia dell'architettura dell'Ottocento*, Jaca Book, Milano, 1992

Nuttgens: *Storia dell'architettura mondiale*, S.Paolo, Cinisello Balsamo, 1995.

**STORIA DELL'ARCHITETTURA II**  
**Prof. Santino LANGE\***

000831

*Programma d'esame*

Il corso è stato orientato a fornire agli allievi elementi per la conoscenza della consistenza materiale, dei modelli di comportamento statico, dei criteri di misura dello spazio e dei caratteri distributivi degli edifici antichi, così da prepararsi ad affrontare le problematiche di recupero e riutilizzazione degli edifici costruiti in epoche anteriori alla rivoluzione industriale e accedere opportunamente agli insegnamenti conclusivi del Corso di Laurea in Ingegneria Edile.

**Generi architettonici e tipologie edilizie.**

Gli edifici residenziali "popolari" della storia europea: dimore urbane e dimore rurali dall'età medioevale alla rivoluzione industriale in rapporto alle tipologie di aggregazione familiare e sociale;

al lavoro; alle condizioni geografiche; alle tipologie impiegate. I tessuti urbani derivanti dalla loro aggregazione.

La residenza "signorile": palazzi urbani, castelli residenziali, ville patrizie.

I luoghi del potere civile: palazzi comunali, broletti, palazzi reali e ducali, regge estive.

Edifici per l'assistenza, l'istruzione e lo spettacolo: enodochi, ospedali, scuole, accademie, biblioteche, teatri.

Edifici per il culto: le varie tipologie delle chiese e degli edifici monastici e conventuali; sinagoghe.

#### **Materiali ed elementi costruttivi antichi.**

Gli inerti nella composizione delle murature antiche: pietra, laterizio, legno, materiali sfusi.

Loro composizione, estrazione e lavorazione nelle diverse epoche ed aree geografiche e culturali.

I leganti nell'impiego murario e nell'impiego di rivestimento (intonaci).

Gli elementi di finitura e decorazione: rivestimenti, pavimenti, manti di copertura.

#### **Componenti e modelli strutturali.**

L'arco e la volta in muratura; sue tipologie, suo impiego.

Il modello strutturale delle grandi fabbriche dell'età romanica.

La volta a crociera d'ogiva e il contrafforte ad arco rampante nell'età gotica.

Le cupole e i sistemi complessi e collaboranti dell'età rinascimentale e barocca.

#### **Maestranze e progettisti.**

Le compagnie e le consorterie dei maestri medioevali; centro di formazione e linee di diffusione.

Le confraternite dell'età gotica e l'organizzazione dei grandi cantieri tardo-medioevali.

La figura del progettista intellettuale dell'umanesimo.

Architetti imprenditori dell'età barocca.

Accademie e tradizione di cantiere.

#### **Misura ed ordine dello spazio.**

La proporzione simbolica medioevale.

La prospettiva e l'ordine classico dell'umanesimo.

La scenografia dinamica dell'età barocca.

Regole, trattati e manuali.

#### *Esercitazioni*

Si svolgeranno alcune esemplificazioni pratiche per la rappresentazione degli edifici antichi. Gli allievi edili che seguono l'orientamento di recupero possono iniziare una ricerca su un singolo edificio da concludersi nell'insegnamento di Tecnica del Restauro.

#### *Bibliografia*

B. Fletcher: *Storia dell'architettura secondo il metodo comparativo*, tr.it., Martello, Milano, 1967.

R. De Fusco: *L'architettura del Cinquecento*, UTET, Torino, 1981.

C. Norberg-Schulz: *Architettura barocca*, Electa, Milano 1979.

## **STRATEGIA E SISTEMI DI PIANIFICAZIONE**

**AQ0113**

**Prof. Umberto BERTELE'**

#### *Programma d'esame*

Il corso di recente istituzione, che si colloca nei curricula di Ingegneria Gestionale come insegnamento specialistico terminale, si propone una rilettura critica dei principali schemi concettuali ed operativi disponibili - concernenti la strategia e la pianificazione - alla luce delle profonde trasfor-

mazioni in atto nel sistema economico-produttivo mondiale e nella sua organizzazione. Con una forte enfasi su alcune tematiche di frontiera, e in particolare su:

- la natura sempre più dinamica dell'impresa;
- la crescente complessità e la decrescente prevedibilità;
- le nuove architetture organizzative;
- la rilevanza della dimensione spaziale dei fenomeni derivante dallo sviluppo dei processi di internazionalizzazione.

La trattazione, che guarda complementariamente alla collocazione esterna e all'articolazione interna dell'impresa, unisce considerazioni teoriche e discussioni di casi recenti.

La finalizzazione è duplice, analitico-interpretativa e normativo-progettuale: con un impiego, per ambedue i fini, della nozione di creazione (distruzione) di valore economico come metro - operativo concettuale - per valutare l'impresa, le sue scelte e quelle ad essa relative.

Il corso - strettamente coordinato con Sistemi di controllo di gestione - si articola in quattro parti tra loro interagenti.

**I. L'ECONOMIA "STRATEGICA" D'IMPRESA.** Il problema della sopravvivenza (sparizione) e della crescita (declino) dell'impresa, in relazione alla natura mutevole nel tempo del suo progetto strategico, alle prestazioni correnti e dinamiche dell'organizzazione (anch'essa mutevole) con cui essa si propone di realizzarlo e alla loro compatibilità con le caratteristiche correnti e dinamiche del contesto economico e socio-politico.

**II. IL PROCESSO DI PIANIFICAZIONE "STRATEGICA".** I sistemi di pianificazione "strategica" (determinazione e implementazione delle strategie) adottati/adottabili, in modo implicito o formalizzato, dall'impresa. Le loro interdipendenze con le altre componenti del sistema di governo e con l'assetto organizzativo e strutturale complessivo. La loro efficacia ed efficienza nei diversi contesti, più o meno perturbati, in cui l'impresa si trova ad operare.

**III. LE AZIONI "STRATEGICHE".** Le azioni - considerate singolarmente e differenzialmente (in contrapposizione con l'approccio integrale delle parti precedenti) - che apportano modifiche significative al progetto e all'organizzazione dell'impresa: l'entrata in una nuova area di business o in una nuova area geo-politica, il lancio di un nuovo prodotto e/o l'introduzione di un nuovo processo, l'acquisizione (cessione) di una unità, la ristrutturazione organizzativa. I criteri operativi di valutazione e gli strumenti di pianificazione dell'implementazione adottabile.

**IV. IL BUSINESS PLAN.** Le metodologie e gli strumenti principali per stendere un business plan al fine di analizzare e valutare non solo le azioni strategiche di un'impresa esistente ma anche la nascita di una nuova impresa (*start-up*).

A fianco della trattazione teorica, viene data ai frequentanti il corso la possibilità di sviluppare, con il supporto del docente, *business plans* specifici relativi a *business ideas* possibilmente generate dagli stessi.

#### *Libri consigliati*

Durante il corso verrà fornito un elenco di letture consigliate.

**STRUMENTAZIONE BIOMEDICA**  
**Prof. Gianfranco DACQUINO**

**AA0008**

*Programma d'esame*

**1. Elaborazione di immagini in medicina.**

a) Problemi generali.

b) Sistemi di elaborazione.

**2. Termografia.**

a) Richiami sulla propagazione delle onde elettromagnetiche.

- Teoria della radiazione nera.

- Leggi fondamentali.

b) Apparecchiature.

- Termografo .

- Principi di funzionamento.

- Rivelatori.

- Costruzione e presentazione dell'immagine.

c) Tecniche di elaborazione.

- Rappresentazione.

- Algoritmi per la determinazione di parametri caratteristici.

d) Esame generale di campi applicativi.

e) Studio dell'applicazione delle tecniche di indagine termografica in campi clinici specialistici:

- Ortopedia.

- Cardiologia.

f) Cenni sulla applicazione delle tecniche di indagine termografica in campo non biologico.

**3. Ecografia.**

a) Propagazione delle onde ultrasonore in mezzi biologici.

- Leggi fondamentali.

b) Apparecchiature.

- Principi di funzionamento.

- Trasduttori.

- Costruzione e presentazione dell'immagine ecotomografica.

c) Tecniche di elaborazione.

- Rappresentazione.

- Algoritmi per la determinazione dei parametri caratteristici.

d) Esame generale di campi applicativi.

e) Studio dell'applicazione delle tecniche di indagine ecografica in campi clinici specialistici.

- Medicina interna.

- Cardiologia.

f) Ultrasuoni in ambito terapeutico.

**4. Radiografia.**

a) Propagazione ed effetti dei raggi X nei tessuti biologici.

b) Apparecchiature radiologiche.

- Radiografia.

- Amplificatori di brillantezza.

-TAC.

c) Tecniche di elaborazione .

- Rappresentazione e ricostruzione dell'immagine.

- Elaborazione e filtraggio.

**5. Risonanza Magnetica Nucleare.**

a) Apparecchiature

-Principi di funzionamento.

-Costruzione e presentazione dell'immagine tomografica.

-Parallelo tra TAC e RMN

**6. Laser**

a) Apparecchiature.

b) Applicazioni cliniche.

c) Problemi di sicurezza nella strumentazione Laser.

*Esercitazioni*

Durante l'anno verranno svolte esercitazioni sperimentali intese ad approfondire alcuni argomenti trattati nel corso e verranno effettuate visite guidate a reparti ospedalieri.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in un colloquio tendente a valutare la preparazione globale raggiunta dall'allievo sui vari argomenti.

*Libri consigliati*Dacquino G.: *Strumentazione Biomedica* CUSL (1994)Fiorini R.A.: *Sistemi di supporto attivo* CUSL (1994)S. Nudelman, D.D. Patton: *Imaging for Medicine* Plenum (1980).Kruse, Me Glauchlin, Me Quistan: *Elements of Infrared Technology*, J. Wiley (1962).Lindsay: *Mechanical Radiation*, McGraw Hill (1960).Wells PNT (ed.): *Ultrasonics in Clinical Diagnosis* Edimburgh: Churchill Livingstone (1977).Ter Pogossian: *The Physics of Diagnostic Radiology* Harper (1971).F. Yu: *Optical Information Processing*, J.Wiley (1983).W.K. Pratt: *Digital Image Processing*, Wiley, N.Y. (1978).V. Gii, C. Gerales: *Ressonancia Magnetica Nuclear*, Gulberkian.N.M. Ristic: *Principles of acoustic devices*, Wiley (1983).**STRUMENTAZIONE E MISURE ELETTRONICHE****AG0263****Prof. Sergio COVA***Programma d'esame*

**1. Metodi elettronici di misura ad elevata risoluzione.** Generalità su misure, errori, distribuzioni statistiche. Segnali e rumore: caratterizzazione nei domini del tempo e della frequenza, funzioni di correlazione, spettri di potenza. Filtri a parametri costanti e a parametri variabili nel tempo, azione sul rapporto segnale/rumore (S/N). Gated integrator, boxcar, campionatori. Misure a media di campioni (averaging). Amplificatore lock-in. Filtri per misure su impulsi. Baseline restorer. Filtraggio ottimo, significato e utilità.

**2. Sensori e rivelatori** con riguardo a: fisica e tecnologia; caratteristiche e parametri elettrici; segnali, contenuto di informazione e prelievo; rumore proprio. Sensori di temperatura: termocoppie, termoresistenze, altri. Sensori di deformazione: estensimetri (strain gauges) resistivi, piezoelettrici. Fotorivelatori a vuoto e a stato solido: fotodiodi, fotomoltiplicatori, fotodiodi a valanga, fotoconduttori, altri dispositivi. Rivelazione analogica e rivelazione digitale (a singoli fotoni).

**3. Elettronica per front-end di acquisizione a minimo rumore.** Generalità su tecniche per riduzione di rumore e interferenze, scelta di componenti e collegamenti. Preamplificatori da strumentazione. Preamplificatori di carica, di tensione, di corrente. Amplificatori vari (ad isolamento; selettivi; per impulsi). Campionatori (sample-and-hold) e rilevatori di picco. Commutatori e multiplexer analogici.

**4. Conversione analogico-digitale (ADC) in misure di precisione.** Quantizzazione, linearità integrale e differenziale, rispettiva importanza in misure singole, mediate, di distribuzioni. Profilo di cella di quantizzazione. Caratteristiche dei principali tipi di ADC.

**5. Applicazioni** in apparati di misura di: forma d'onda di segnali elettrici; distribuzioni di ampiezza di impulsi; forma d'onda e distribuzione spettrale di segnali ottici.

#### *Esercitazioni*

Sono dedicate ad illustrare esempi quantitativi e applicazioni relativi ad argomenti del programma e a dimostrazioni di uso di strumenti elettronici.

#### *Testi consigliati*

Bussolati: *Appunti di strumentazione elettronica* - CLUP

*Bibliografia per Strumentazione Elettronica*, CLUP

Bertolaccini, Cova: *Note sui fotorivelatori*, CLUP.

Wilmshurst: *Signal recovery from noise in electronic instrumentation*, A. Hilger -IOP Publishing 2nd edition.

## **STRUMENTAZIONE ELETTRONICA DI MISURA**

**AH0101**

**Prof. Alessandro FERRERÒ**

#### *Programma d'esame*

**Rumore nelle misure.** Processi statistici e parametri atti a descriverli. Processi stazionari: densità spettrale di potenza. Tipi di rumore. Sorgenti di rumore. Accoppiamenti di disturbi e interferenze con i circuiti di misura. Rumore di modo normale. Rumore di modo comune. Definizione di banda di rumore e miglioramento del rapporto segnale/rumore.

**Dispositivi per l'elaborazione analogica di segnali.** Amplificatori per misura. L'amplificatore operazionale. Parametri caratteristici. Amplificatori per strumentazione. Caratteristiche fondamentali. Principali circuiti di elaborazione analogica: amplificatore, sommatore, derivatore, integratore, rivelatore di picco, adattatore di impedenza, amplificatore a transconduttanza, rivelatore di zero. Amplificatori di isolamento. Filtri analogici. Classificazione. Filtri Butterworth, Chebyshev, Bessel, ellittici, equi-ripple. Schemi circuitali. Filtri a capacità commutate. Circuiti moltiplicatori.

**Misuratori elettronici di energia.**

**Dispositivi per l'elaborazione numerica di segnali.** Conversione analogico-numerica. Caratteristica di conversione ideale e reale. Errori di conversione. Circuiti di Sample & Hold. Convertitori ad approssimazioni successive. Convertitori flash. Convertitori ibridi. Convertitori Sigma-Delta. Verifica dei convertitori. Parametri di errore.

**Oscilloscopi a raggi catodici.** - Tubo a raggi catodici, sezione triodica, di deflessione, postaccelerazione. Sensibilità. Limite di banda. Schema a blocchi. Dispositivi a traccia multipla e a base dei tempi multipla. Caratteristiche di impiego.

**Oscilloscopi numerici.** Trattamento digitale dei segnali. Sistema "digital-storage" e "digitizing". Tubo a raggi catodici per oscilloscopi numerici: sistemi "vector" e "raster". Sistemi a stato solido. Controllo di processo per oscilloscopi digitali. Caratteristiche di impiego.

**Contatore elettronico.** Componenti del contatore. Predisposizione alle misure di intervallo di tempo, di periodo, di frequenza, di rapporto, generazione di intervalli programmati. Analisi delle incertezze. Caratteristiche di impiego.

**Sistemi di acquisizione dati.** Microcalcolatori di processo per misure. Schema a blocchi e componenti fondamentali. Multiprocessazione. Sistemi DSP. Schema a blocchi di un sistema di acquisizione dati. Frequenza di campionamento e banda passante. Elaborazione in tempo differito ed in tempo reale.

**Misuratori di fase.** Tecniche analogiche. Tecniche logiche.

**Analizzatori di spettro.** Sistemi analogici. Sistemi numerici a FFT.

#### *Esercitazioni*

Si terranno esercitazioni sperimentali sull'impiego degli strumenti di misura trattati nel programma.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di domande teoriche e riguarda gli argomenti e le procedure di misura illustrati nel corso delle lezioni e delle esercitazioni.

#### *Libri consigliati*

M. Savino: *Fondamenti di Scienza delle Misure*, Ed. NIS, Roma.

B.M. Oliver, J.M. Cage: *Electronic measurements and instrumentation*. McGraw - Hill, London.

P.F. Manfredi, P. Maranesi, T. Tacchi: *L'amplificatore operazionale*. Boringhieri, Torino.

A. Liberatore, S. Manetti: *La progettazione dei filtri elettronici*, Edizioni Medicea, Firenze.

## **STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE CHIMICA**

**AF0016****Prof. Pio FORZATTI**

#### *Programma d'esame*

##### **A. Misure: principi e strumentazione.**

Classificazione delle variabili di processo in base alla loro natura ed ai segnali di misura. Qualità delle misure. Errori di misura.

Misure di temperatura. Scale di temperatura. Termometri. Termoresistenze. Termistori, Pirometri ottici. Strumenti per misure elettriche in genere e di temperatura in particolare.

Misure di pressione: manometri, misuratori di pressione differenziale.

Misure di portata. Dispositivi di strozzamento: diaframmi, boccagli, venturimetri. Tubi di Pitot. Strumenti speciali per misure di portate.

Misure di livello. Principi di misura e misuratori di livello e di stati di livello.

Misure di composizione chimica. Gas cromatografi di processo. Analizzatori di gas. Tecniche spettroscopiche.

Criteri di scelta della strumentazione.

##### **B. Controllo di processo.**

Caratteristiche del sistema di controllo. Comportamento statico e dinamico di un processo chimico. Funzioni di trasferimento e modelli input-output. Analisi del comportamento dinamico di un sistema: sistemi del primo ordine, del secondo ordine e di ordine superiore.

Controllo in retroazione: elementi dell'anello di regolazione. Controllo proporzionale (P), proporzionale + integrale (PI) e proporzionale + integrale + derivativo (PID). Comportamento dinamico dei processi controllati in retroazione: effetti delle azioni di controllo. Stabilità dei sistemi regolati in retroazione. Progettazione dei controllori in retroazione. Analisi della risposta in frequenza dei sistemi lineari. Progetto dei controllori in retroazione mediante la tecnica dell'analisi della risposta in frequenza.

Sistemi avanzati di controllo: processi con tempo morto, processi con risposta inversa, controllo in cascata, controllo selettivo, controllo in anteazione, controllo in anteazione-retroazione, controllo adattivo e controllo inferenziale. Sistemi di controllo per processi complessi: configurazione di controllo alternative per sistemi multiple input - multiple output, interazione e disaccoppiamento degli anelli di regolazione.

Sistemi di controllo digitali: anello di controllo digitale, acquisizione di segnali continui e loro conversione in valori discreti, risposta dinamica di sistemi discretizzati, progettazione di controllori digitali.

### **C. Catene di misura e regolazione.**

Catena di misura e regolazione pneumatica. Trasmettitori pneumatici: elementi primari di misura, trasduttori meccanici, trasduttore pneumatico, posizionatori, configurazioni e tipi di trasduttori pneumatici. Regolatori pneumatici. Catena di misura e regolazione elettronica. Trasduttori elettrici: trasduttori resistivi, capacitivi e induttivi, altri tipi di trasduttori. Condizionamento dei segnali elettrici: ponti di misura e amplificatori di misura. Configurazione dei trasduttori elettrici e tipi di trasmettitori elettrici. Regolatori elettronici discontinui e continui.

Sistemi di misura e regolazione digitali. Conversione analogica/digitale e digitale/analogica. Controllo digitale centralizzato e distribuito. Sistemi di controllo distribuiti: misure ed attuazioni, regolazione e controllo; supervisione, gestione e programmazione, interfaccia con l'operatore. Comunicazioni digitali: tipi di collegamento, gestione, sicurezza e protocolli di comunicazione.

L'elemento finale di controllo. Valvole di regolazione: caratteristiche costruttive, dimensionamento, meccanica dei fluidi nelle valvole. Valvole di sicurezza.

### **D. Applicazioni della strumentazione di misura e controllo nell'industria chimica.**

Schemi di principio, di processo e di marcia (schemi P & I) e relativa simbologia. Esempi di schemi di processo e di schemi di marcia.

Esempi di strumentazione di misura e controllo per singole unità di impianti chimici: flash, colonne di distillazione, reattori, generatori di vapore, compressori, pompe, serbatoi, scambiatori di calore.

Esempi di strumentazione di misura e controllo di impianti con unità interagenti e di impianti completi.

Case history: strumentazione di misura e controllo per un impianto industriale.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni teoriche, pratiche e di laboratorio verteranno su esemplificazioni di schemi di controllo e su funzionamento ed impiego dei componenti delle catene di misura e regolazione.

### *Libri consigliati*

A. Brunelli: *Strumentazione di Misura e Controllo nelle Applicazioni Industriali*, Voli I, II e III, Ed. GISI (1993).

George Stephanopoulos: *Chemical Process Control An Introduction to Theory and Practice*, Prentice/Hall International, Inc., New Jersey (1984).

D.M. Considine: *Process Instruments and Controls Handbook*, 3rd Edition. McGraw-Hill Book Co., New York (1985).

Documentazione tecnica fornita durante il corso.

**STRUTTURA DEI MATERIALI MACROMOLECOLARI**  
**Prof.ssa Chiara CASTIGLIONI****AF0030***Programma d'esame***Introduzione.**

Definizioni e concetti generali; la struttura nei suoi diversi aspetti; relazioni proprietà-struttura; problematiche dell'indagine strutturale e della scienza dei materiali macromolecolari. Il materiale come sistema: elementi componenti e relazioni fra elementi, livelli di risoluzione, sottosistemi; metodologie d'analisi del sistema "materiale". Modelli; livelli di caratterizzazione strutturale; ordine, regolarità e simmetria strutturale.

**Molecole e macromolecole - Materiali monomolecolari.**

Interazioni fra atomi; molecole e cristalli. Metodologie di studio della struttura delle molecole e macromolecole: fondamenti topologici e geometrici, caratterizzazione e tipologia delle macromolecole polimeriche regolari e non regolari, analisi conformazionale. Materiali a struttura reticolata e loro proprietà tipiche; elastomeri vulcanizzati, resine termoindurite. Metodologie sperimentali di indagine strutturale a livello molecolare; metodi basati sull'interazione fra radiazioni elettromagnetiche e materia: spettroscopia IR, Raman e UV, diffusione della luce, risonanza magnetica nucleare, spettrometria di massa; metodi avanzati.

**Aggregati molecolari e macromolecolari - Materiali polimolecolari.**

Interazioni fra molecole. Aggregati regolari; cristallinità, materiali cristallini e policristallini. Difetti nelle strutture regolari e conseguenze sulle proprietà; modelli paracrystallini; morfologia di cristallizzazione dei polimeri; effetti di trattamenti termici e meccanici, fenomeni di orientamento; fibre e film polimerici. Aggregati parzialmente regolari; mesofasi nematiche e smettiche, cristalli liquidi. Aggregati non regolari; natura dello stato amorfo nei materiali macromolecolari. Materiali monofasici a più componenti. Metodologie sperimentali di indagine strutturale mediante diffusione e diffrazione di raggi X a basso ed alto angolo, diffrazione di neutroni ed elettroni, microscopia elettronica, metodi avanzati.

**Materiali macromolecolari polifasici e compositi.**

Componenti, fasi e domini. Materiali polimerici polifasici e compositi: da miscelazione, da interpenetrazione, da copolimerizzazione a blocchi e ad innesto; elastometri e plastomeri rinforzati con particelle e fibre, polimeri a struttura cellulare, materiali porosi impregnati con polimeri; materiali macrocompositi. Influenza delle caratteristiche strutturali sulle proprietà. Metodologie sperimentali di indagine strutturale.

*Esercitazioni*

Consistono in approfondimenti relativi a metodi di caratterizzazione strutturale, comprendenti dimostrazioni e visite presso laboratori specializzati nel campo.

*Libri consigliati*

Conviene seguire gli appunti presi durante le lezioni. Saranno messi a disposizione appunti sintetici sui principali argomenti trattati nel corso. Per approfondimento si consigliano i seguenti testi (disponibili presso la biblioteca dell'Istituto di Chimica Industriale):

Z.D. Jastrzebski: *The Nature and Properties of Engineering Materials*, J. Wiley, 1976

J. Schultz: *Polymer Materials Science*, Prentice-Hall, 1974

F. Danusso: *Chimica Macromolecolare* (Appendice II), CLUP, 1980

R. Ugo: *Analisi Chimica Strumentale*, Guadagni, 1972

M. Kakudo, N. Kasai: *X-Ray Diffraction by Polymers*, Kodansha, 1972.

## STRUTTURE E MATERIALI AEROSPAZIALI

AL0113

Prof. Vittorio GIAVOTTO

*Programma d'esame*

1 - Le strutture aerospaziali. Descrizione delle tipologie fondamentali dei velivoli ad ala fissa, degli elicotteri e dei mezzi spaziali - Soluzioni strutturali e problematiche principali - Tendenze nella scelta dei materiali - Giunzioni - Ruolo dell'analisi e delle prove strutturali - Criteri di sicurezza strutturale.

2 - Fondamenti di meccanica dei solidi. Richiami di calcolo tensoriale - Spostamenti finiti: tensori di Green e di Kirckhoff - Lavoro di deformazione - Principio dei lavori virtuali - Equazioni di equilibrio - Modelli costitutivi - Modelli elastici, lineari isotropi ed anisotropi - Materiali compositi - Criteri di resistenza.

3 - Il metodo degli elementi finiti. Generalità sui metodi approssimati diretti - Il metodo di Ritz - Il metodo degli elementi finiti come applicazione speciale del metodo di Ritz - Elementi, funzioni interpolanti, costruzione della matrice di massa e di rigidezza - Vincoli e carichi - Procedimenti di soluzione per la determinazione della configurazione di equilibrio statico, dei modi propri di vibrare, e dei carichi critici - Procedimenti a sottostrutture - Criteri di scelta dello schema: tipo e dimensione degli elementi.

4 - Teoria delle travi. Equazioni di equilibrio per gli sforzi in un solido prismatico caricato sulle sezioni estreme - Sforzi tangenziali - Formulazione generale del calcolo degli sforzi sezione col metodo degli spostamenti - Teoria della trave anisotropa ed eterogenea - Determinazione delle rigidezze e della linea elastica - Richiami sui procedimenti per l'analisi di strutture a telaio.

5 - Teoria della trave a semiguscio. Ipotesi fondamentali - Schematizzazione a semiguscio di travi aeronautiche reali - Ruolo dei vari elementi strutturali - Calcolo dei flussi di taglio - Rigidezza torsionale e centro di taglio - Sezioni molteplici connesse - Calcolo dei diaframmi - Ingobbamenti - Soluzione col metodo degli spostamenti - Grandi aperture - Shear-lag ed altri problemi di estremità - Effetto della rastremazione - Determinazione degli sforzi nelle giunzioni.

6 - Teoria dei pannelli. Formulazione della teoria dei pannelli sottili piani e curvi con spostamenti trasversali finiti - Equazioni di equilibrio e principi variazionali - Pannelli isotropi ed anisotropi - Impiego di modelli continui anisotropi per l'analisi di pannelli irrigiditi - Effetto delle deformazioni trasversali.

7 - Instabilità di elementi sottili. Cenni alla instabilità di travi e di strutture a telaio - Instabilità linearizzata di pannelli piani e curvi - Trattazione analitica e fenomenologia sperimentale - Impiego degli abaci e del metodo degli elementi finiti - Effetto delle imperfezioni sul carico critico dei pannelli curvi - Procedimenti per la determinazione dei carichi critici effettivi - Il metodo di Koiter - Instabilità locale di travi a parete sottile - Instabilità e collasso di pannelli irrigiditi - Pannelli a sandwich - Pannelli lavoranti oltre il carico critico - La trave di Wagner - Il campo di tensione diagonale incompleta.

8 - Verifica di resistenza dei dettagli. Verifica delle giunzioni - Giunzioni rivettate ed incollate - Collegamenti ad occhio - Analisi delle catene di comando: resistenza degli elementi, interfaccia con la struttura, rigidezza della catena.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono principalmente nello svolgimento di esercizi del tipo di quelli proposti nella prova scritta d'esame. Saranno svolte anche alcune esercitazioni sperimentali.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste nello svolgimento di una prova scritta seguita da un colloquio. A scelta dello studente la prova scritta può essere sostituita da un colloquio di maggiore ampiezza.

*Libri consigliati*

Dispense edite dalla CLUP - Durante il corso verranno consigliati i testi consultabili presso la Biblioteca del Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale, per l'approfondimento degli argomenti specifici.

**STRUTTURE PREFABBRICATE****AN0102****Prof. Mario CATANIA***Programma d'esame*

- 1. Introduzione.** - Concetto di industrializzazione della costruzione e i suoi problemi. Prefabbricazione leggera e pesante.
- 2. Generalità sulle strutture prefabbricate.** - Problemi generali di progettazione delle strutture prefabbricate in relazione alle fasi di produzione, trasporto, montaggio, esercizio.
- 3. Criteri di ottimizzazione delle strutture prefabbricate.** - Problema del minimo costo. Problemi di minimo peso per il progetto di strutture prefabbricate. L'impiego della sperimentazione su strutture in vera grandezza e su modelli per l'ottimizzazione delle strutture prefabbricate.
- 4. Strutture a pannelli portanti.** - Tipologia. Fondamenti delle strutture prefabbricate a pannelli. Schemi statici: comportamento globale e verifiche locali. Giunti: tipologia, calcolo: carichi, eccentricità. Pannelli portanti orizzontali: tipologia e calcolo. Pannelli portanti verticali: tipologia e calcolo. Problemi di controvento: controventi di montaggio, tipologia e calcolo; controventi di esercizio, tipologia e calcolo.
- 5. Strutture scolorari e ad elementi tridimensionali.** - Tipologia e calcolo. Strutture a box portante in c.a. Strutture ad ossatura portante con box abitativi leggeri. Cenni sulle macrostrutture con box o caravanings.
- 6. Strutture ad ossatura portante.** - Giunti orizzontali e verticali (schemi statici piani e spaziali). Edifici multipiano: tipologia e procedimenti costruttivi, schemi statici e loro calcolo, carico critico o di collasso di alcuni schemi particolari, il collasso incrementale. Problemi di controvento: controventi di montaggio, controventi di esercizio, verifica dei pannelli di facciata, verifica delle pareti di tamponamento. Edifici industriali: tipologia e procedimenti costruttivi, elementi di appoggio, problemi di schema; strutture di copertura: criteri di scelta, elementi di copertura piana a trave, tipologia e calcolo; coperture con tegole, calcolo degli sforzi secondari; travature reticolari, tipologia, calcolo degli sforzi secondari, stabilità dell'equilibrio elastico in fase di sollevamento e montaggio. Archi: generalità e schemi statici, calcolo degli archi prefabbricati, stabilità dell'equilibrio elastico degli archi; la voltina trave, generalità e schemi statici, calcolo; verifiche statiche in fase di trasporto, montaggio e smontaggio e problemi di controvento negli edifici industriali: generalità, stabilità laterale delle travi alte prefabbricate in c.a. e c.a.p., pericoli di labilità delle strutture prefabbricate (errori di schema), effetto delle azioni laterali, calcolo delle controventature (a parete o reticolari); fondazioni ed infrastrutture: fondazioni prefabbricate, problemi relativi alle fondazioni eseguite in opera, scale, elementi vari (vani ascensori, etc.).
- 7. Calcolo di travi per impieghi speciali.**
- 8. Collaudo ed indagini sperimentali delle strutture prefabbricate.**
- 9. Cenni sulle strutture prefabbricate in legno,** con particolare riguardo alle strutture lamellari (Leimholz).

### Esercitazioni

Gli studenti saranno divisi in gruppi, ed ogni gruppo dovrà svolgere delle esercitazioni relative alla progettazione di una costruzione con elementi prefabbricati.

### Libri consigliati

Menditto G., *Statica delle strutture prefabbricate* (voi. unico), ed. CLUP, Milano, 1980.

M. Catania, G.M. Cocchi: *La stabilità nelle travi prefabbricate*, ITEC Editrice, Milano, 1984.

Lewicki B., *Progettazione di edifici multipiano industrializzati*, già ITEC Editrice (distribuito da De Lettera ed., Milano).

Norme CNRUNI 10025/85.

Per gli argomenti e le nozioni costruttive non contenute nel testo, verranno forniti a cura del docente gli appunti del corso e le relative indicazioni durante le lezioni.

## TECNICA DEL CONTROLLO AMBIENTALE

AK0116

(termofisica degli edifici, acustica ed illuminotecnica)

Prof. Livio MAZZARELLA

### Programma d'esame

#### 1. TERMOFISICA DEGLI EDIFICI.

- a) Condizioni climatiche esterne, parametri caratteristici.
- b) Comfort termico, fattori rilevanti, indici di comfort, temperatura efficace.
- c) Scambi termici attraverso l'involucro edilizio, generalità conduzione, convezione, irraggiamento, proprietà, termofisiche, modalità di scambio in componenti edilizi opachi e trasparenti, stato stazionario, variabile e periodico, metodologie di analisi dello scambio termico, esempi di applicazione del metodo deH'ammiettenza, ventilazione naturale e forzata.
- d) Trasporto del vapore, problemi termometrici nelle strutture edilizie.
- e) Metodi per il controllo climatico interno legati alla progettazione edilizia, gli impianti meccanici di climatizzazione, cenni sulle interazioni edificio-impianto.
- f) Aspetti energetici del controllo climatico degli edifici, modelli, normativa.
- g) Apparecchiature e misure termotecniche

#### 2. ACUSTICA.

- a) Principi generali, onde sonore, frequenza, intensità e potenza, sensibilità auditiva, effetto del rumore, propagazione del suono, riflessione, assorbimento, interazione con i componenti edilizi.
- b) Il suono in spazi contenuti, riverberazione, tempo ottimo di riverberazione, correzione acustica, livello sonoro in un punto qualunque di un locale.
- c) Isolamento acustico, metodologie e tecniche progettuali per il controllo del rumore, riduzione alla fonte, materiali isolanti, casi significativi per l'edilizia.
- d) Apparecchiature e misure acustiche.

#### 3. ILLUMINOTECNICA.

- a) Principi generali, natura della luce, quantità fotometriche, trasmissione, riflessione, efficienza visiva, aspetti quantitativi e qualitativi dell'illuminazione.
- b) Luce naturale, clima e luce, fonti di luce, fattore di illuminazione, aspetti progettuali, verifica deH'illuminazione naturale di un ambiente, modelli per l'illuminazione di interni,
- c) Luce artificiale, tecnologie e tipologie, modelli, aspetti energetici dell'illuminazione artificiale.
- d) Apparecchiature e misure fotometriche.

#### **4. QUALITÀ' DELL'ARIA.**

- a) Presentazione delle problematiche
- b) Campi di variabilità delle grandezze che definiscono la qualità
- c) Indici di qualità
- d) Apparecchi di misura e controllo

*Libri di testo*

Appunti del docente.

### **TECNICA DEL RESTAURO**

**AJ0003**

**Prof. Lucio FRANCHINI**

*Programma d'esame*

Il corso si propone di dare agli allievi di ingegneria civile i fondamenti culturali e tecnici per operare in modo avvertito nei casi di intervento su preesistenze architettoniche. A questo scopo saranno condotte analisi volte ad acquisire la capacità di distinguere i caratteri di diverse esperienze edilizie e i vari mutamenti avvenuti nel tempo. Saranno date nozioni volte a consentire all'allievo di applicare criticamente nel campo dell'edilizia storica e tradizionale il bagaglio di conoscenze tecnologiche e scientifiche complessivamente assimilate nello svolgimento dell'indirizzo universitario. Le tematiche generali del corso si possono così riassumere:

Analisi della nozione di "restauro" e suoi sviluppi; interventi attuati nelle varie epoche e loro interpretazione in rapporto ai rispettivi fondamenti culturali, teorici e tecnici. Proposte e realizzazioni dalla fine del XVIII secolo al XIX in Europa.

Il restauro scientifico, dalla conferenza di Atene alle problematiche successive. Il restauro "critico" e la "carta di Venezia" del 1964. Le tendenze attuali in rapporto all'estensione della nozione stessa di restauro, dall'edificio singolo all'ambiente storico urbano e territoriale. Inserimenti nuovi in tessuti preesistenti. La legislazione.

Necessità e significato del rilievo grafico e fotografico come momento fondamentale dell'approccio analitico e quale premessa alle proposte operative. Tipologie edilizie e costruttive e murarie, uso dei materiali, loro datazione. Esemplificazioni di intervento.

Materiali dell'edilizia tradizionale e loro comportamento strutturale. Tipologie costruttive ricorrenti e loro schematizzazione. Il rilievo in funzione dell'analisi strutturale degli edifici antichi. Introduzione all'analisi dei dissesti. Opere provvisorie. Cenni sui metodi di consolidamento. Problemi di durabilità, degrado e protezione dei materiali. Problemi di abitabilità nella riutilizzazione degli edifici antichi.

*Esercitazioni e Modalità d'esame*

Le esercitazioni consisteranno nell'analisi approfondita di un caso concordato con singoli studenti o piccoli gruppi.

Esse condurranno ad un elaborato in cui potranno essere sviluppate in modo applicativo le tematiche del corso e che costituirà parte integrante della materia d'esame.

*Libri consigliati*

A. Bellini: *Il restauro architettonico*, in *La difesa del patrimonio artistico*, Oscar Mondadori, Milano, 1978  
AA.VV.: *Tecnologie per la conservazione*, F. Angeli, Milano, 1986  
C. Feiffer: *Il progetto di conservazione*, F. Angeli, Milano, 1989  
G. Carbonara: *Restauro dei monumenti guida agli elaborati grafici*, Liguori, Napoli 1990.  
La Regina: *Sicurezza e conservazione del patrimonio architettonico*, Liguori, Napoli 1995  
*Dispense del corso riguardanti l'intero programma*

Ulteriori indicazioni bibliografiche saranno fornite durante le lezioni e le esercitazioni.

**TECNICA DELLE COSTRUZIONI**

**AN0030**

(per allievi di Ingegneria Ambientale)

**Prof. Paola RONCA**

*Programma del corso*

**1. Dimensionamento e verifica di strutture ad elementi monodimensionali.**

1.1 Analisi statica, dinamica e di instabilità delle strutture a telaio.

Metodo delle forze e metodo degli spostamenti: loro fondamento nei teoremi energetici.

Modellazione strutturale col metodo degli Elementi Finiti.

1.2 Strutture in calcestruzzo armato

Proprietà meccaniche del calcestruzzo e suo comportamento reologico; meccanica della frattura nei conglomerati; dimensionamento degli elementi strutturali; metodo n e metodo agli stati limite; particolari costruttivi; strutture in calcestruzzo armato precompresso: tecniche di precompressione; verifica e progetto della trave in c.a.p.; punti limite, fuso di Guyon; riduzione dello sforzo di taglio; verifica a taglio.

1.3 Terreni e fondazioni

Proprietà meccaniche dei terreni, tipi di fondazione e loro caratteristiche; criteri di dimensionamento; strutture di contenimento.

1.4 Strutture in acciaio

Proporzionamento degli elementi resistenti; collegamenti chiodati, bullonati, saldati; la composizione strutturale; verifiche di stabilità.

**2. Strutture ad elementi bidimensionali.**

2.1 Elementi bidimensionali piani.

Piastre sottili: schematizzazione secondo Kirchoff; equazione di Lagrange-Germain; soluzioni esatte per piastre circolari; soluzioni di Navier per piastre rettangolari.

La trave alta.

2.2 Elementi bidimensionali curvi.

Gusci cilindrici ; gusci di rivoluzione.

*Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni applicative sui singoli argomenti.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste nel superamento di prove scritte durante il corso e di una prova orale finale.

*Libri consigliati*Gambarova et al., *Esercizi di Tecnica delle Costruzioni*, ClupBelluzzi O., *Scienza delle Costruzioni*, ed. Zanichelli, Bologna.Cedolin L., *Elementi di Analisi Strutturale*, Quaderni del Corso di Perfezionamento per le Costruzioni in Cemento Armato, ed. Tamburini, Milano, 1975.Finzi L., Nova E., *Elementi Strutturali*, ed. Italsider (Collana Tecnico-Scientifica)Toniolo G., *Il cemento armato*, ClupCaironi M., *Elementi strutturali in acciaio*, Clup

Copia di tali testi sono a disposizione degli Allievi presso la biblioteca del Dipartimento di Ingegneria Strutturale.

**TECNICA DELLE COSTRUZIONI****AN0034**

(per allievi dei Corsi di Laurea in Ingegneria Meccanica, Chimica, Elettrotecnica, Nucleare)

**Prof. Sergio TATTONI***Programma d'esame***1. LA STATICA DEI SISTEMI DI TRAVI.**

**1.1. La linea elastica.** La linea elastica per travi rettilinee caricate da forze distribuite e concentrate, momenti, distorsioni. *Applicazioni al calcolo di spostamenti e rotazioni.* Linee di influenza di travi semplici e funzioni derivate. La trave su suolo elastico.

**1.2 Il metodo delle forze e il metodo degli spostamenti.** Le equazioni di congruenza e di equilibrio. *Applicazioni al calcolo dei telai piani.* Impostazione matriciale dei metodi. Linee di influenza per sistemi di travi.

**1.3 Interpretazione di algoritmi di risoluzione di sistemi di equazioni lineari.** Algoritmo di Gauss e di Seidel. Il metodo di Cross modificato con autoeliminazione degli errori.

**1.4 Introduzione agli elementi finiti.** Le funzioni di forma per l'elemento triangolare piano, rettangolare, per piastra e tubi. Cenni all'uso dei programmi di analisi strutturale.

**2. L'INSTABILITÀ DEI SISTEMI DI TRAVI.**

**2.1 La trave rettilinea caricata di punta nella teoria del II ordine.** Equazione differenziale della linea elastica. Calcolo di spostamenti e rotazioni. Le funzioni di instabilità.

**2.2 La trave rettilinea caricata di punta con azioni trasversali.** Presso-flessione e diagrammi di interazione M-N.

**2.3 L'instabilità dei telai piani.** Ricerca del carico critico di aste variamente vincolate e della lunghezza di libera inflessione. Ricerca del moltiplicatore critico dei carichi. La localizzazione degli autovalori.

**2.4 Impostazione matriciale dei problemi di instabilità.** La trave sollecitata assialmente come "elemento finito", la matrice elastica e la matrice geometrica.

**3. LA DINAMICA DEI SISTEMI DI TRAVI.**

**3.1 La trave rettilinea in campo dinamico.** L'equazione differenziale, caso di vibrazioni stazionarie in fase. Calcolo di spostamenti e rotazioni per eccitazione armonica. Funzioni di frequenza.

**3.2 Sistemi di travi o telai.** Il metodo delle forze e degli spostamenti per la ricerca delle frequenze proprie e per la determinazione della risposta ad eccitazioni armoniche. La localizzazione degli autovalori.

**3.3 La trave vibrante come "elemento finito".** La matrice delle masse, cenni all'uso dei programmi.

**4. PLASTICITÀ.**

**4.1 Generalità.** Il legame elastico-plastico. Duttilità. Plasticizzazione della sezione. Cerniera plastica.

**4.2 La plasticità nella struttura.** Il meccanismo di collasso, i teoremi del limite superiore ed inferiore. Applicazioni al calcolo strutturale (telai piani). Osservazioni sui limiti di applicabilità della teoria.

**5. ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO.**

**5.1 Generalità.** Caratteristiche dei materiali. Criteri di verifica. Normativa.

**5.2 La verifica della resistenza.** Calcolo delle sollecitazioni. Stato limite elastico della sezione. Stato limite di collasso plastico.

**5.3 La verifica dell'instabilità di aste semplici.** Instabilità euleriana. Instabilità oltre il campo elastico. Il metodo Q. Instabilità flesso-torsionale.

**5.4 La verifica dell'instabilità di aste composte.** Influenza del taglio sul carico critico, la snellezza ideale, il taglio fittizio, verifica dei collegamenti trasversali.

**5.5 La verifica della deformabilità.** Il controllo degli spostamenti, spostamenti elastici ed anelastici.

**5.5 Collegamenti.** Unioni di forza ed unioni correnti. Collegamenti bullonati, saldati, chiodati.

**5.6 Elementi strutturali.** *Il pilastro semplice e composto: azioni interne, instabilità, fondazione. La trave reticolare: azioni interne, deformazioni, conformazione dei nodi, cenno al calcolo degli sforzi secondari. La trave a parete piena: azioni interne, ipotesi di trave ideale, deformazioni, instabilità globale e locale (imbozzamento).*

**6. ELEMENTI STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO ARMATO.**

**6.1 Generalità.** Caratteristiche dei materiali.. Criteri di verifica. Normativa.

**6.2 Verifica e progetto della sezione rettangolare.** Calcolo delle sollecitazioni per azione assiale, flessione semplice e composta, taglio (metodo "n"). Calcolo dello stato limite ultimo per flessione semplice e composta (diagrammi di interazione M-N) e per taglio.

**6.3 Verifica di sezioni diverse dalla rettangolare.** Metodi grafici e numerici.

**6.4 Elementi strutturali e particolari costruttivi.** *Il pilastro: compresso semplice e cerchiato, presso-inflesso. La fondazione a plinto: verifiche e dimensionamento armature. La trave: progetto e verifica della sezione (rettangolare o a T) con semplice e doppia armatura per flessione e taglio. Disposizione delle armature.*

**7. PROBLEMI PARTICOLARI.**

**7.1 Tubi e serbatoi.** *Gusci di rivoluzione e cupole (teoria membranale). Gusci cilindrici: teoria membranale e teoria generale.*

**7.2 Linee elettriche.** *Statica delle funi. Tipologie dei sostegni. Determinazione dei carichi e calcolo statico di alcune componenti tipiche.*

**7.3 Strutture civili ed industriali:** capannoni in acciaio, edifici in c.a..

**7.4 Fondazioni ed opere contro terra.**

**7.5 Strutture speciali:** le strutture off-shore e marine, le strutture in legno.

*Struttura didattica*

Alle lezioni ex cathedra verranno affiancate esercitazioni numeriche comuni a tutti gli allievi (punti 1.1 e 1.2) ed attività seminariali differenziate per i diversi corsi di laurea (punti 5.6, 6.4, 7.1 e 7.2), i cui argomenti sono evidenziati in carattere più piccolo.

Durante il semestre verranno effettuate prove di verifica relativamente agli argomenti di cui ai punti 1, 5 e 6.

*Elaborati o tesi di laurea*

Riguarderanno gli argomenti indicati al punto 7.

*Modalità d'esame*

In caso di esito positivo delle prove di verifica (che restano valide per l'anno accademico in corso), l'esame finale orale prenderà spunto dalle prove stesse, per i necessari approfondimenti, nonché dalle attività seminariali svolte dall'allievo. Le prove di verifica sono consigliate, ma non sono obbligatorie.

In caso di esito negativo della prova sui telai (punto 1), l'allievo sosterrà una prova scritta (validità sei mesi). La successiva prova orale si svolgerà come precedentemente indicato o, in caso di esito negativo delle prove di verifica, verterà sugli argomenti in programma.

*Libri consigliati*

M. Caironi: *Teoria e tecnica delle costruzioni*, Ed. CittàStudi, Milano:

*Strutture a molte iperstatiche: metodo delle forze, metodo degli spostamenti.*

*Introduzione al calcolo automatico: metodi matriciali, elementi finiti.*

*Instabilità dei telai.*

*Introduzione alla dinamica strutturale.*

*Elementi di strutture in acciaio.*

*Calcestruzzo armato e muri di sostegno.*

M. Caironi, S. Tattoni: *Esercitazioni di Tecnica delle Costruzioni*, Ed. Masson Italia, Milano.

S. Tattoni: *Unioni nelle strutture metalliche*, dispense presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale.

M. Caironi, L. Bonera: *Il legno lamellare - Il calcolo*, Ed. Habitat Legno, Edolo, 1989.

**TECNICA DELLE COSTRUZIONI****AN0045**

(per gli allievi di Ingegneria Civile - Indirizzi Geotecnica, Idraulica e Trasporti)

**Prof. Pietro GAMBAROVA***Programma d'esame*

**1. Elementi monodimensionali e loro sistemi** - Il calcolo elastico delle travi continue e dei sistemi di travi e pilastri (telai piani e spaziali) con i metodi delle forze e degli spostamenti. La trave su appoggio elastico continuo incoerente. I graticci di travi. Cenni al calcolo a rottura ed alla ridistribuzione delle azioni interne.

**2. Elementi bidimensionali piani: le lastre piane e le piastre.**

**2.1 Le lastre piane:** risoluzione in campo elastico degli stati tensionali piani con la funzione delle tensioni; le travi alte; le mensole tozze; il problema della diffusione dei carichi.

**2.2 Le piastre:** la teoria di Lagrange-Germain per piastre sottili rettangolari e circolari, in presenza di carichi trasversali; le condizioni al contorno; le soluzioni di Navier e Levy; gli effetti dei carichi agenti nel piano medio; \*le piastre oblique: problemi di spigolo ed azioni flettenti principali.

**3. Elementi bidimensionali curvi (gusci)** - Fondamenti della teoria membranale e flessionale. Gusci cilindrici (tubi e serbatoi) e gusci di rivoluzione. Voltine a botte: condizioni al contorno ed effetti flessionali di bordo.

**4. Elementi prismatici in parete sottile** - Travi con sezione a profilo aperto: teoria elementare (sezioni piane) e teoria di Vlasov (sezioni ingobbate). \*Travi con sezione cava mono- e pluri-connessa in presenza di taglio e torsione.

**5. Verifiche di stabilità dell'equilibrio** - Elementi monodimensionali caricati di punta: instabilità nel caso di materiale elasto-incrudente; instabilità flessotorsionale. Elementi bidimensionali piani: instabilità della lastra sottile caricata nel piano medio. Travi in parete sottile con sezione a profilo

aperto: instabilità flessorsionale. \*Cenni all'instabilità dei gusci cilindrici. Il metodo *co* per la verifica di stabilità delle aste d'acciaio.

6. **Gli elementi strutturali in calcestruzzo armato e precompresso** - Caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali. Fessurazione, aderenza, viscosità.

**6.1 Elementi in c.a.:** progetto alle tensioni ammissibili e con il calcolo a rottura in presenza di una o due azioni interne.

**6.2 Travi in c.a.p.:** principi della precompressione ed aspetti tecnologici; pretensione e postensione dei cavi; perdite di precompressione; punti limite della sezione, comportamento a taglio; tracciato ottimale dei cavi. Cenni alla precompressione delle travi iperstatiche.

**6.3 Piastre in c.a.:** orientamento ottimale dell'armatura; \*verifica locale dell'armatura in servizio e a rottura; \*il calcolo a rottura delle piastre sottili con il metodo delle linee di plasticizzazione.

7. **I fondamenti del calcolo degli elementi strutturali in acciaio** - Telai, travi, colonne (a traliccio e calastrellate), il collegamento colonna - plinto in c.a.; le connessioni (saldatura, bullonatura, chiodatura): equilibrio e congruenza; cenni agli elementi misti (c.a. - acciaio).

8. **Problemi speciali** - \*1 carichi ciclici e la fatica (diagramma di Wöhler e regola di Miner): effetti sulla resistenza ultima di elementi in calcestruzzo semplice ed armato. \*Degradamento delle caratteristiche meccaniche dei materiali e degli elementi strutturali in c.a. e c.a.p. per effetto della corrosione chimica ed elettrochimica.

\* Argomenti complementari, non facenti parte del programma d'esame.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono in una parte dedicata allo sviluppo in senso applicativo oppure all'estensione delle teorie e dei metodi illustrati a lezione, ed in una parte dedicata ad elaborazioni numeriche su esempi strutturali concreti. In corso d'anno vengono proposti alcuni temi da elaborare numericamente, la cui valutazione viene tenuta in conto in sede di esame. Inoltre, due esercitazioni sono dedicate al controllo in corso d'anno della preparazione degli studenti (prove scritte, di validità annuale, se l'esito è positivo).

#### *Modalità d'esame*

Per essere ammessi all'esame orale è necessario aver sviluppato almeno 3 elaborati e aver superato le due prove scritte in corso d'anno (calcolo dei telai e delle sezioni in c.a.) oppure (in luogo di queste ultime) una apposita prova scritta che - se superata - ha validità annuale.

#### *Libri consigliati*

P. Gambarova et al.: *Esercizi di Tecnica delle Costruzioni*, CLUP (Argomento 1).

M. Caironi: *Teoria e Tecnica delle Costruzioni - Strutture a molte iperstatiche: il metodo degli spostamenti*, CLUP (Argomento 1).

O. Belluzzi: *Scienza delle Costruzioni*, Volumi 3,4, Zanichelli (Argomenti 2,3,5).

E. Giangreco: *Teoria e tecnica delle costruzioni*, Voi. 1, Liguori (Argomento 6).

R. Walther, M. Miehlebradt, R. Favre et al.: *Progettare in c.a.*, Hoepli (Argomento 6).

G. Toniolo: *Cemento Armato - Calcolo agli stati limite*, Masson (Argomento 6).

M. Caironi: *Teoria e Tecnica delle Costruzioni-Elementi di Strutture in acciaio*, CLUP (Argomento 7).

Su argomenti specifici verranno distribuiti appunti in aula.

**TECNICA DELLE COSTRUZIONI****AN0044**

(per allievi Civili: Indirizzo Strutture)

**Prof. Luigi CEDOLIN***Programma d'esame*

**1. Problemi particolari delle travi.** La trave su appoggio elastico. I graticci di travi. Travi in parete sottile a profilo aperto e chiuso: torsione uniforme e non uniforme. Travi a cassone soggette a flessione e torsione. Effetti dei diaframmi. Problemi di diffusione del carico in lamiera con correnti.

**2. Strutture piane di travi.** Soluzione con il metodo delle forze e degli spostamenti. Diagrammi qualitativi delle azioni interne. Linee di influenza per forze e distorsioni.

**3. Strutture bidimensionali.** Lastre piane caricate da forze agenti nel piano medio. Trave parete. Mensola tozza. Larghezza collaborante. Piastre piane sottili caricate normalmente al piano medio. Soluzione per la piastra circolare sotto carichi assialsimmetrici. Soluzioni approssimate per piastre rettangolari. Diagrammi qualitativi delle azioni interne. Lastre curve di piccolo spessore. Teoria membranale. Fondamentali della teoria flessionale e applicazione alle lastre cilindriche circolari e alle cupole sferiche. Calcolo dei coefficienti di influenza per azioni applicate ai bordi.

**4. Fondamenti delle strutture in acciaio.** Caratteristiche meccaniche degli acciai da carpenteria. Prove di trazione, urto e fatica. Unioni saldate e bullonate. Elementi strutturali tesi e inflessi. Elementi strutturali compressi. Effetto delle autotensioni termiche nei riguardi della stabilità. Metodi di verifica per aste composte compresse. Irrigidimento delle travi alte.

**5. Fondamenti delle strutture in cemento armato.** Il comportamento meccanico del calcestruzzo. Aspetti microstrutturali. Criteri probabilistici di valutazione delle caratteristiche meccaniche. Leggi costitutive per stati di tensione monoassiale, biassiale e triassiale. Frattura e sua propagazione. Problemi di fatica. Modelli reologici per la rappresentazione del comportamento viscoso sotto cariche di lunga durata. Funzioni di viscosità e rilassamento. Analisi elastoviscosa delle strutture. Effetti del ritiro e della temperatura. Aderenza tra acciaio e calcestruzzo. Fessurazione. Introduzione al calcolo non lineare. Elementi strutturali in cemento armato. Regime tensionale in sezioni compresse, inflesse e pressoinflesse. Domini di esercizio e di rottura. Modelli di calcolo per travi soggette a flessione e taglio e a torsione. Instabilità dei pilastri. Problemi delle strutture miste in acciaio-calcestruzzo. Cemento armato precompresso. Definizione dello stato di coazione, sia monoassiale sia biassiale. Metodi di precompressione. Perdite di tensione istantanee e differite. Sezioni inflesse. Punti limite e momento utile. Verifica a taglio, fessurazione e rottura. Disposizione dei cavi di precompressione. Sistema equivalente alla precompressione. La precompressione di travi iperstatiche.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono in una parte dedicata allo sviluppo in senso applicativo dei metodi illustrati a lezione, ed in una parte dedicata alla illustrazione di esempi di calcolo, che lo studente dovrà effettuare consegnando il relativo elaborato. Alcune esercitazioni saranno dedicate al controllo della preparazione durante il corso (prove scritte, di validità annuale, se l'esito è positivo).

*Modalità d'esame*

Per essere ammessi all'esame orale è necessario aver superato le prove scritte in corso d'anno oppure una apposita prova scritta che ha validità per la sessione di esame in cui viene superata. Occorre anche presentare gli elaborati.

*Libri consigliati*

- Parte 1 - L. Corradi dell'Acqua: *Meccanica delle strutture* Volli, Me Graw-Hill, Italia, 1993.  
 - J.T. Oden, E.A. Ripperger: *Mechanics of Elastic Structures*, Me Graw-Hill, New York, 1980
- Parte 2 - L. Cedolin: *Elementi di Analisi Strutturale*, Tamburini, Milano, 1973.  
 - Appunti a cura del docente.
- Parte 3 - S.P. Timoshenko: *Theory of Plates and Shells*, MacGraw-Hill, New York, 1970.
- Parte 4 - E.F. Radogna: *Tecnica delle Costruzioni: Fondamenti delle Costruzioni in Acciaio*, ESA, Milano, 1989.
- Parte 5 - E.F. Radogna: *Tecnica delle Costruzioni: Costruzioni in Cemento Armato*, ESA, Milano, 1991.  
 - G. Toniolo: *Tecnica delle Costruzioni: Cemento Armato*, Masson, Milano, 1995.

**TECNICA DELLE COSTRUZIONI****AN0045**

(per gli allievi di Ingegneria Edile)

**Prof. Giandomenico TONIOLO***Programma d'esame***1. IL CALCOLO STRUTTURALE.**

**1.1. Criteri di sicurezza strutturale:** interpretazione statistica della sicurezza, metodi di verifica, applicazione del metodo semiprobabilistico, la normativa tecnica sulle costruzioni.

**1.2. Il metodo delle forze:** le deformazioni flessionali delle travi, le equazioni di congruenza, applicazione del metodo alle travi continue.

**1.3. Il metodo degli spostamenti:** impostazione generale del metodo, le equazioni di equilibrio, telai a nodi fissi, telai a piani spostabili, telai a nodi spostabili generici.

**1.4. Teoria del second'ordine:** analisi del second'ordine della trave inflessa, applicazioni con il metodo delle forze, applicazioni con il metodo degli spostamenti, calcolo di instabilità dei telai.

**2. ELEMENTI STRUTTURALI IN CEMENTO ARMATO E PRECOMPRESSO.**

**2.1. Caratteristiche dei materiali:** proprietà dei calcestruzzi, ipotesi di rottura, viscosità ed effetti strutturali, caratteristiche delle armature, aderenza e comportamento delle sezioni in c.a., durabilità.

**2.2. Sforzo assiale centrato:** i pilastri staffati e cerchiati, effetti di ritiro e viscosità, tiranti in c.a., distanza e ampiezza di fessurazione.

**2.3. Momento flettente:** calcolo elastico e a rottura della sezione, flessione deviata, fessurazione flessionale delle travi, diagrammi momenti/curvature e deformazioni flessionali della travi.

**2.4. Sforzo assiale eccentrico:** calcolo elastico e a rottura delle sezioni, diagrammi di interazione M/N, presso e tensoflessione deviate, comportamento deformativo, instabilità dei pilastri in c.a.

**2.5. Sforzo di taglio:** comportamento al taglio delle travi in c.a., modelli di calcolo per le travi, resistenza delle travi non armate al taglio e delle travi armate al taglio, criteri d'armatura delle travi.

**2.6. Momento torcente:** richiami sulla torsione uniforme, modello per i calcoli di resistenza, problemi di interazione, le deformazioni torsionali delle travi.

**2.7. Elementi strutturali per fondazioni:** fondazioni isolate, fondazioni su pali, travi rovescie di fondazione, sistemi complessi, muri di sostegno.

**2.8. Le travi in precompresso:** sistemi di precompressione, aspetti tecnologici, le perdite di tensione, il tracciato dei cavi, le travi iperstatiche, problemi di diffusione.

**3. ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO.**

**3.1. Caratteristiche degli acciai da costruzione:** prodotti siderurgici per le costruzioni, ipotesi di plasticizzazione, fragilità, saldabilità e fatica, criteri del calcolo plastico a rottura.

- 3.2. **I collegamenti degli elementi in acciaio:** unioni bullonate, unioni saldate, esempi tipologici di unioni interne ed esterne.
- 3.3. **Calcolo delle sezioni:** richiami sul calcolo elastico, calcolo plastico della sezione, comportamento elastoplastico delle travi.
- 3.4. **Instabilità delle aste compresse:** instabilità elastoplastica, aste pressoinflesse, influenza della deformazione per taglio, instabilità dei pilastri composti.
- 3.5. **Altri problemi di instabilità:** la trave in flessotorsione, verifiche di instabilità delle travi, imbozzamento instabile delle lamiere.
- 3.6. **Le travi miste acciaio/calcestruzzo:** verifiche fissionali della sezione composta, effetti del ritiro e della viscosità del calcestruzzo, sforzo di scorrimento e calcolo connettori.

#### *Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni applicative sui singoli argomenti.

#### *Modalità d'esame*

Per essere ammessi all'esame orale è necessario aver superato una prova scritta secondo le modalità che verranno esposte all'albo del Dipartimento.

#### *Libri consigliati*

G. Toniolo: *Tecnica delle costruzioni*, Massoni

*Voi 1* : *Calcolo strutturale: i telai*,

*Voli 2A/B*: *Cemento armato: calcolo agli stati limite*,

*Voi 3* : *Elementi strutturali in acciaio*;

C. Cestelli Guidi: *Cemento armato precompresso*, Hoepli;

P.M. Ferguson: *Reinforced concrete fundamentals*, John Wiley;

J. Eibl ed.: *Concrete structures Euro-design handbook*, Ernst & Sohn;

G. Ballio, F.M. Mazzolani: *Strutture in acciaio*, ISEDI-Mondadori;

W. McGuire: *Steel structures*, Prentice-Hall;

P. Pozzati: *Teoria e tecnica delle strutture*, (voli. I e II), Unione Tip. Ed. Torinese;

E. Giangreco: *Teoria e tecnica delle costruzioni*, Liguori.

E.F. Radogna: *Tecnica delle costruzioni*, (Voli. I e II), Masson.

## **TECNICA DELLE COSTRUZIONI MECCANICHE**

**AR0137**

**Prof. Enrico BAZZARO**

#### *Programma d'esame*

### **1. Complementi di verifica di resistenza.**

- Impostazione deterministica: metodo delle tensioni limiti; impiego della Meccanica della frattura lineare elastica.

- Impostazione probabilistica: probabilità di cedimento e di sopravvivenza; tasso di guasto; coefficiente di sicurezza probabilistico; "loading roughness"; coefficiente di sicurezza semiprobabilistico; Fail-Safe e Safe-Life; verifica a fatica con cicli di sollecitazione non stazionari; analisi probabilistica dei carichi.

### **2. Elementi di meccanica dei continui anisotropi.**

- Legge di Hooke in caso generale; piani di simmetria elastica; casi delle sollecitazioni semplici (azione assiale, flessione, torsione); lastra anisotropa; continui ortotropi.

-Verifica della resistenza; teorie di Hill, di Hoffmann, della massima tensione, della massima deformazione; cenno alle formulazioni generali mediante polinomi.

**2a. Applicazioni** -Verifica di resistenza di elementi in materiale composito; determinazione delle caratteristiche elastiche di lamine ortotrope.

### **3. Lastre ortotrope.**

- Lastre sottili; lastre piane di forma qualsiasi; lastre circolari - Caso particolare del continuo isotropo.

**3a. Applicazioni** - Fondi piani; fondi nervati. Lastra rettangolare nervata o in materiale ortotropo: soluzione col metodo delle differenze finite.

**4. Lastre di rivoluzione-Teoria** della deformazione inestensionale.

**4a. Applicazioni** - Fondi sferici; Fondi ellittici - Impiego del metodo del Ritz: Tubi curvi inflessi; riduttori di tipo armonico.

### **5. Complementi di analisi delle tensioni**

- Anelli circolari caricati nel loro piano: linea elastica - Richiami sulle travi come strutture spaziali : caso generale; anelli circolari soggetti a momenti radiali uniformemente distribuiti (teoria del Grammel); travi ad elica cilindrica

**5a. Applicazioni** - Molle ad elica cilindrica; molle a tazza; giunti torsionalmente elastici; fasce elastiche.

### **6. Problemi di instabilità**

- instabilità di aste in campo lineare o non lineare - Impiego del metodo energetico: instabilità delle molle ad elica cilindrica, lastre cilindriche sottili premute dall'esterno: caso delle lastre lunghe, effetto dei vincoli, cenno alla teoria del Southwell - Tubi compressi assialmente.

**7. Aste caricate di punta con carichi laterali.**

### **8. Problemi in coordinate polari.**

-Problema del Boussinesq; solido a cuneo; dischi e cilindri rotanti sollecitati in campo elastico e plastico.

### **9. Tensioni di origine termica.**

- Legge di Hooke in campo non isotermico; flessione in un'asta; tensioni di origine termica in dischi sottili e cilindri lunghi.

### **10. Tensioni di contatto.**

- Teoria di Hertz - Elementi di teoria elastoidrodinamica.

**IOa. Applicazioni** - Cuscinetti volventi; apparecchi di appoggio.

### **11. Elementi costruttivi.**

- Giunti (rigidi, elastici, cenno agli snodati) ; frizioni; freni meccanici.

### **12. Collegamenti fissi.**

- Saldature; incollaggi.

**12a. Applicazioni** - Verifica di strutture saldate (tralicci, telai, recipienti in pressione, flange per la trasmissione del moto).

### **13. Vibrazioni longitudinali di molle ad elica cilindrica.**

#### *Esercitazioni*

Verranno proposti per la risoluzione numerica ,con l'ausilio di P.C., alcuni esempi delle applicazioni sopra menzionate.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta in una prova orale.

*Libri consigliati*

Oltre a quanto già indicato nei corsi di Costruzione di macchine, possono essere consultati:

Bazzaro E., Gorla C., Miccoli S., *Note relative al corso di Tecnica delle Costruzioni Meccaniche*, Milano, Edizioni Spiegel, 1996.

Domig A., *Lezioni di Costruzione di macchine II*, Milano, CLUP.

Domig A., *Le molle*, Milano, CLUP, 1988.

Corradi dell'Acqua L., *Meccanica delle strutture*, Voi 1, Milano, McGraw-Hill Libri Italia s.r.l., 1992.

Carter A.D.S., *Mechanical Reliability*, II ed, London Macmillan 1986.

Belluzzi O., *Scienza delle Costruzioni*, Voi 3 e 4, Bologna, Zanichelli.

Lekhnitskii S.G., *Theory of Elasticity of an Anisotropic Body*, Moscow, MIR, 1977 (Traduzione inglese).

Lekhnitskii S.G., *Anisotropic Plates*, New York, Gordon and Breach Science Publisher, 1968.

Timoshenko S.P., Goodier J.N., *Theory of Elasticity*, New York, McGraw-Hill, 1977.

Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S., *Theory of Plates and Shells*, New York, McGraw-Hill, 1959.

**TECNICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI****AY0006****Prof. Claudio PODESTÀ'***Programma d'esame*

**1) Introduzione** - Inquadramento dei trasporti nelle attività economiche: funzione economica e sociale. Concetti generali di economia applicata all'esercizio dei trasporti. Classificazione dei trasporti sotto l'aspetto tecnico amministrativo.

**2) Problemi di funzionamento delle reti di trasporto (cenni)** - Caratteristiche essenziali e descrizione di una rete di trasporto - Grafi associati - Domanda/offerta di trasporto, curve ed equilibri relativi - Costo del trasporto - Costo del viaggio; funzione di portata e funzione di domanda - Condizioni di equilibrio di una rete - Caso di domanda rigida - Derivazione di modelli di distribuzione/assegnazione dalle impostazioni teoriche: modello del trasporto.

**3) Impostazione di programmi d'investimento nel campo dei trasporti (cenni)** - Studi preliminari - Individuazione degli obiettivi e tipi di analisi - Programmazione delle indagini: indagini di O/D - Interpretazione delle informazioni - Modelli di previsione - Modelli di assegnazione - Ripartizione modale - Analisi di un progetto di investimento nel campo dei trasporti - Criteri di valutazione e ipotesi di lavoro - Redditività economica.

**4) I Trasporti pubblici di massa nelle aree ad alta densità di urbanizzazione** - Quadro generale - Aspetti normativi e gestionali - Tipologia dei servizi e delle reti - Prestazioni dei diversi servizi - Problemi tariffari - Metropolitane - Metropolitane leggere - Sistemi innovativi - Sicurezza.

**5) Economia aziendale (cenni)** - Bilancio patrimoniale e bilancio d'esercizio - Entrate e spese d'esercizio e loro componenti: costi medi, parziali e marginali - Unità di movimento e di traffico - Il problema del movimento; distribuzione della domanda di trasporto nello spazio e nel tempo; frequenza, velocità media e commerciale - Il problema della manutenzione e del rinnovamento - Le tariffe a valore e a costo - Il deficit di esercizio: utilità sociale e sovvenzioni - Evoluzione tecnica ed economica dell'azienda di trasporto.

**6) Meccanica della locomozione terrestre** - Generalità - Equazione del moto; diagramma di trazione e orario grafico - Organi di rotolamento e aderenza - Ruota e rotaia ferroviaria: aderenza e funzione di guida - Ruota automobilistica - Pneumatico: comportamento statico: aderenza longitudinale e scorrimento; aderenza trasversale e deriva - Teoria elementare dell'aderenza - Resistenza al rotolamento; resistenza all'aria; resistenze accidentali, pendenza e curva - Massa equivalente e

misura diretta della resistenza - Frenatura - Spazio di frenatura - Percentuale di peso frenato - Stabilità trasversale del veicolo; concetto di accelerazione radiale efficace.

### *Esercitazioni*

Le esercitazioni consisteranno nello sviluppo di un problema di esercizio o nel progetto di un impianto di trasporto: è in facoltà dell'allievo integrarle con una monografia su un particolare argomento relativo alla materia.

Saranno effettuate visite di istruzione.

*Testi generali (i libri sono disponibili per la consultazione presso la Biblioteca del DSTM)*

*Appunti dalle lezioni dell'ITA. A. precedente.*

*Appunti di Tecnica ed Economia dei Trasporti.* Dispense della CUSL parti I, II, III.

*Appunti di Tecnica ed Economia dei Trasporti dalle lezioni del Prof. C.Podestà.* Dispense del DSTM.

E. Cascetta: *Metodi quantitativi per la pianificazione dei sistemi di trasporto*, CEDAM ed. 1990.

M. De Luca: *Tecnica ed Economia dei Trasporti*, CUEN ed. 1989.

M. Liberatore: *Sistemi di trasporto di massa e tecnologie innovative*, Masson ed. 1994.

E. Stagni: *Meccanica della Locomozione*, Patron ed. 1980.

*Libri consigliati (disponibili per la consultazione presso la Biblioteca del DSTM)*

*Conto Nazionale dei Trasporti*, Min. dei Trasp. Dir. Gen. Poc. 1994 Ist. Poi. dello Stato, (Parte 1<sup>a</sup> - Analisi Economica).

A. Ventre: *Introduzione ai Grafi Planari*, ed. Zanichelli 1987.

A. Colomi: *Ricerca Operativa*, ed. Clup 1990, (Capp. 1,5,6,8,9).

P. Gelmini: *Modelli urbanistici di Distribuzione*, ed. Clup 1990.

C. Podestà: *Rapid Transport Systems*, ed. Elsevier Sc. Pub. 1983.

L. Mayer: *Impianti ferroviari. Tecnica ed esercizio*, ed. CIFI 1989.

G. Vicuna: *Organizzazione e tecnica ferroviaria*, ed. CIFI 1989.

*Riviste (disponibili per la consultazione presso la Biblioteca del DSTM)*

*Ingegneria Ferroviaria.*

*La Tecnica Professionale*

*Trasporti e Trazione*

*Railway gazette international*

*Revue Generale des Chemin de Fer*

## **TECNICA URBANISTICA**

**Prof. Gianluigi SARTORIO**

**AJ0009**

*Programma d'esame*

### **I - IL FENOMENO URBANISTICO (nei rapporti sociologici):**

**1) Il territorio urbanistico:** Fenomenologia sociologico-urbanistica, il comprensorio, la città. Le quattro dimensioni del fenomeno urbanistico.

**2) L'interrogazione scientifica urbanistica:** Indagini di ingegneria urbanistica, primarie e interdisciplinari. La ricerca urbanistica di insieme: organica e impiantistica. I sistemi e i modelli urbanistici, nel territorio.

3) **L'impianto urbanistico territoriale:** Popolazione e gruppi di residenze; rapporti sociali e servizi sociologici; il lavoro e pendolarismo; movimento e impianti cinematici; biosfera, tema idraulico e servizi tecnologici.

4) **I grandi sistemi urbanistici:** Il sistema dei rapporti sociali e le strutture insediative. Il sistema delle comunicazioni e i relativi canali. Il sistema ecologico-urbanistico e il geoambiente.

## **II - LA PIANISTICA URBANISTICA (nell'ingegneria del territorio):**

1) **Programmazione e urbanistica:** Programmazione socio-economica e pianificazione urbanistica. Divenire della società ed evoluzione urbanistica territoriale. Il tema urbanistico fondiario, nei termini socio-economici e nei rapporti tecnico-urbanistici: il problema della casa. L'economia urbanistica e le esigenze della società.

2) **Finalizzazione urbanistico-operativa:** La pianificazione urbanistica ai vari livelli; compiti programmatici e mezzi operativi: il piano dinamico. La strumentazione urbanistica di legge e la realizzazione dei piani: politica urbanistica, urbanistica passiva e attiva. Le armi urbanistiche operative.

3) **La dinamica urbanistica territoriale, in Italia e all'estero:** Il piano regionale lombardo e la programmazione economica; il piano intercomunale milanese (PIM); Milano e il piano regolatore comunale. La situazione urbanistica in Italia: i piani urbanistici italiani più significativi. La situazione urbanistica all'estero: le risultanze pianistiche urbanistiche "móndiali", d'Oltralpe e d'Oltreoceano.

### *Esercitazioni*

Progettazione urbanistica applicata, su temi da concordare con i docenti.

### *Modalità d'esame*

All'esame viene presentato il progetto svolto nelle esercitazioni annue. L'esame comprende un colloquio e la discussione dell'elaborato delle esercitazioni.

### *Libri consigliati*

V. Columbo: *La ricerca urbanistica: Indagini primarie, Organica urbanistica*, Giuffrè, Milano, 1966-79 (2 volumi)

P. Hall: *Le città mondiali*, Il Saggiatore, Milano, 1966, oppure

P. Merlin: *Le città nuove*, Laterza, Bari, 1971, oppure

W. Schneider, *La città, destino degli uomini*, Garzanti, Milano, 1961, oppure

U. Toschi, *La città*, UTET, Torino, 1966.

### **Per l'approfondimento della materia si consigliano inoltre:**

J. Labasse: *L'organisation de l'espace*, Hermann, Parigi, 1966

W. Isard: *Methods of Regional Analysis: an Introduction to Regional Science*, The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1960.

J.B. McLoughlin: *La pianificazione urbana e regionale: un approccio sistemico*, Marsilio, Padova, 1973.

Autori vari: *La viabilità urbana*, T.C.I., Milano, 1961.

J. Fourastiè: *Le grand espoir duXXe siècle*, Gallimard, Parigi, 1963.

E. Silva: *Elementi di economia urbanistica*, Giuffrè, Milano, 1960-64

D. Rodella: *Legislazione urbanistica*, Pirola, Milano.

**TECNOLOGIA DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI**  
**Prof. Ettore ZAMBELLI****AJ0021***Programma d'esame*

0) L'insegnamento si prefigge di fornire i fondamenti di tecnologia edilizia, propedeutici alle tematiche degli insegnamenti di Architettura Tecnica e di Ergotecnica edile. Esso trae i suoi argomenti dalle metodologie e dalle conoscenze tecnico scientifiche utilizzabili nel campo della concezione, progettazione e produzione degli elementi costruttivi con particolare attenzione per il contesto architettonico in cui questi vengono impiegati.

1) Il sistema tecnologico edilizio.

Il sistema tecnologico-prestazionale; il sistema tecnologico-funzionale.

Classi di unità tecnologiche, Unità tecnologiche, Classi di elementi tecnici, Elementi tecnici, Sistemi tecnologici.

Requisiti tecnologici e specifiche tecniche.

Conformità prestazionale e conformità tecnica.

2) La qualità tecnologica dell'elemento tecnico.

La qualità nel processo edilizio. Qualità tecnologica del prodotto intermedio complesso: qualità caratteristica, qualità operativa, qualità di manutenzione.

3) La progettazione tecnologica dell'elemento tecnico.

Metaprogettazione del sistema tecnologico-prestazionale: requisiti tecnologici e specificazioni di prestazione tecnologica.

Progettazione del sistema tecnologico-funzionale: modello di funzionamento degli elementi tecnici: requisiti tecnici e specificazioni tecniche.

Metodologia per le verifiche di comportamento e di funzionamento dell'elemento tecnico.

4) I problemi del controllo della qualità tecnologica dell'elemento tecnico.

I momenti significativi del controllo e i tipi di controllo.

5) La scheda tecnica dell'elemento tecnico.

Strutture e contenuti della scheda.

Criteri d'espressioni e di comunicazione dell'informazione tecnica.

6) La normativa tecnologica edilizia.

La normativa internazionale, sovranazionale e nazionale.

La classificazione delle norme tecnologiche.

7) Rassegna organizzata per classi di elementi tecnici.

Tipologie tecnologiche di elementi costruttivi, requisiti tecnologici, specifiche di prestazioni tecnologiche, requisiti tecnici, specifiche tecniche.

La rassegna verrà sviluppata per le tecnologie più significative, con la partecipazione sistematica di esperti di produzione e con riferimento alla documentazione tecnica e a campioni di prodotti.

8) Gli elementi costruttivi nel contesto di realizzazioni architettoniche.

Analisi di casi significativi intesi alla comprensione del ruolo della tecnologia nella progettazione architettonica.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni, alle quali lo studente dovrà regolarmente iscriversi all'inizio del corso, consistono nell'applicazione a specifiche ipotesi progettuali e operative delle metodologie e delle strumentazioni trattate nell'ambito delle lezioni e saranno condotte individualmente e a squadre. Inoltre saranno svolti seminari didattici che tratteranno di materiali, prodotti ed elementi tecnici in funzione delle loro specifiche destinazioni per l'impiego in edilizia.

*Modalità d'esame*

L'esame consisterà in una prova orale che potrà essere sostenuta dallo studente solo dopo aver positivamente svolto gli elaborati delle esercitazioni individuali e di squadra.

*Libri consigliati*

AA.VV. - *Guida alla progettazione*, BE-MA Editrice, Milano, 1987

AA.VV, *Costruire a regola d'arte*, BE-MA Editrice, Milano, 1990-94

Dispense a cura della docenza.

H.Ronner, *Baukonstruktion im kontext des architektonischen entwerfens*, Birkhauser Verlag, 1991

Durante lo svolgimento del corso verranno approntate opportune dispense integrative.

**TECNOLOGIA DEI BIOMATERIALI****AA0010****Prof. Riccardo PIETRABISSA***Programma d'esame***Introduzione, definizioni e impostazione.**

Problemi legati alla progettazione di dispositivi medicali. Campi di applicazione dei biomateriali. Introduzione ai problemi di interfaccia tra i materiali da costruzione e i tessuti biologici. La biocompatibilità: definizioni e aspetti generali come caratteristica intrinseca dei materiali e come caratteristica del dispositivo in relazione al suo impiego.

**Le reazioni deU'organismo all'impianto di materiali estranei.**

Il processo di guarigione di una lesione tissutale. La risposta dei tessuti all'impianto di materiali estranei. La risposta del sangue. La risposta dei tessuti agli impianti che attraversano permanentemente la pelle.

**La struttura dei solidi.**

Lo stato solido. I legami nei solidi cristallini. Reticoli cristallini: ordine atomico. Imperfezioni nei solidi cristallini.

**Caratterizzazione meccanica dei materiali.**

Tipi di sollecitazione meccanica semplice. Comportamento alla sollecitazione statica. Comportamento alla sollecitazione dinamica. Viscoelasticità. Isteresi. Creep e rilassamento.

**Caratterizzazione fisica dei materiali.**

Proprietà termiche. Caratterizzazione superficiale. Proprietà elettriche e piezoelettriche. Proprietà ottiche. Proprietà acustiche e ultrasoniche. Proprietà di diffusione. Densità e porosità

**Classi di materiali.**

Legami chimici, struttura, proprietà e tecnologie dei metalli, dei polimeri, dei ceramici, dei compositi, dei materiali biologici. Le leghe. La corrosione dei metalli con riferimento all'ambiente biologico e ai trattamenti anticorrosione. I metalli usati in medicina. Monomeri e polimeri. La polimerizzazione. Classi di polimeri. Caratterizzazione dei polimeri con particolare riferimento alle proprietà meccaniche. I polimeri usati in medicina. Materiali ceramici bioinerti. Materiali ceramici bioattivi. I materiali ceramici usati in medicina. I materiali a base di carbonio. Il carbonio pirolitico: caratteristiche, tecnologia e applicazioni. Caratteristiche della matrice e del riempitivo nei compositi. Applicazioni dei compositi in medicina. Il collagene, l'elastina, il muscolo, il tendine, la pelle, l'osso. Uso dei materiali biologici in applicazioni biomediche.

**Tecnologie di trattamento superficiale.****La sterilizzazione.**

**Applicazioni di biomateriali a contatto con il sangue.**

Criteri di progetto, materiali impiegati e loro tecnologie per le seguenti applicazioni: protesi valvolari cardiache, protesi vascolari, ossigenatori per circolazione extracorporea, dializzatori, filtri per il sangue, pompe per assistenza cardiocircolatoria e cuore artificiale.

**Biomateriali per applicazioni ortopediche.**

Criteri di progetto, materiali impiegati e loro tecnologie per i dispositivi di osteosintesi e le protesi articolari.

**Altre applicazioni tecnologiche dei biomateriali.**

Suture, ferri chirurgici, lenti a contatto, protesi dentali, cateteri per angioplastica, stent endoluminali.

**Normative.***Libri consigliati*

- R. Pietrabissa: *Biomateriali per protesi e organi artificiali*. Patron Editore, Bologna 1996.  
 J. Black: *Orthopaedic biomaterials in research and practice*. Churchill Livingstone, New York, 1988.  
 J. Black: *Biological Performance of Materials. Fundamentals of Biocompatibility*. Second Edition, Marcel Dekker, Inc., New York, 1992.  
 E. Bodnar, R. Frater: *Replacement cardiac valves*. McGraw-Hill, New York, 1992.  
 J.P. Cazenave, J.A. Davies, M.D. Kazatchkine, W.G. van Aken: *Blood-surface interaction*. Elsevier, Amsterdam, 1986.  
 R. Fumerò, P. Giusti: *Biomateriali: dalla ricerca di base all'applicazione clinica*, Patron Editore, Bologna 1985.  
 G.W. Hastings: *Cardiovascular biomaterials*. Springer-Verlag, London, 1992.  
 J.B. Park, S.R. Lakes: *Biomaterials: an introduction*. Plenum Press, New York, 1992.  
 D.R. Askeland: *The Science and Engineering of Materials*. Second S.I. Edition, Chapman and Hall, London, 1990.  
 L.H. Van Vlack: *Elements of materials Science and engineering*, 6th Ed. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1989.  
 D. Williams: *Concise encyclopedia of medical & dental materials*. Pergamon Press, Oxford, 1990.  
 R.S. Greco: *Implantation Biology. The Host Response and Biomedical Devices*, CRC Press, Inc., Boca Raton, 1994.  
 E. W. Morscher: *Endoprosthetics*, Springer-Verlag, Berlin, 1995.  
 J.D. Bronzino: *The Biomedical Engineering Handbook*, CRC Press, Boca Raton, 1995.

**TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA****000838**

(per gli allievi di Ingegneria Chimica e Ambiente e Territorio)

**Prof. Giovanni LEVITA****Elementi di struttura e proprietà dello stato cristallino**

Caratteristiche geometriche dei reticoli cristallini con particolare riferimento a quelli cubici ed esagonale. Punti, direzioni e piani. Notazione di Miller. Vuoti reticolari.

Transizioni di fase. Richiami di termodinamica. Nucleazione omogenea ed eterogenea. Velocità di nucleazione e sottoraffreddamento. Crescita planare e dendritica. Solidi policristallini. Dimensione del grano. Diagrammi TTT.

Le soluzioni solide. SS sostituzionali: fattori che ne controllano la formazione. Super reticoli. Transizione ordine-disordine. SS interstiziali. Distorsioni reticolari. Composti intermetallici.

Diagrammi di fase. Diagrammi tempo-temperatura. Sistemi ad uno e a due componenti. Curve di energia libera. I Diagrammi di equilibrio. Diagrammi di sistemi binari, (solubilità totale, nulla e parziale, con formazione di composti, con trasformazioni peritettica e monotettica). Diagrammi complessi. Trasformazioni fuori equilibrio (eutettico metastabile e spostamento d'eutettico). Le segregazioni (micro e macro). Diagrammi ternari con particolare riferimento ai cementi e alle ceramiche.

Difetti reticolari. Difetti di punto e di linea. Geometria ed energia delle dislocazioni semplici. Moto, interazioni e generazione di dislocazioni. La plasticità nei materiali metallici. Meccanismo ed effetti dell'incrudimento. La ricristallizzazione.

La diffusione. Leggi di Fick. I meccanismi di diffusione.

### **Leghe di interesse industriale**

Leghe ferrose. Struttura e proprietà degli acciai semplici. Strutture da trattamento isoterma e da raffreddamento continuo. Curve di Bain. Temprabilità. Acciai speciali: effetto degli elementi di lega più comuni. Gli acciai inossidabili. Le ghise comuni e speciali. Trattamenti termici. I mezzi di tempra. I trattamenti di diffusione.

Il rame e le sue leghe. Caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche del rame. Ottoni comuni e speciali. Bronzi comuni e speciali.

L'alluminio e le sue leghe. Caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche dell'alluminio. Leghe da fonderia e da lavorazione plastica. La bonifica delle leghe leggere.

Altre leghe. Cenni sulle leghe di magnesio, zinco, nichel e titanio.

### **Elementi di struttura e proprietà dello stato solido amorfo**

I vetri. Curve volume/temperatura. La transizione vetrosa. Temperatura e viscosità. Natura viscoelastica dei solidi amorfi.

### **I materiali vetrosi e ceramici**

Le strutture cristalline della silice e dei silicati (a isola, a catena e a strato). Formazione di vetri silicei. Diagrammi di fase nelle ceramiche. Proprietà termiche, meccaniche e chimiche dei vetri e delle ceramiche. Tecniche di formatura. Tempra del vetro. Materiali tradizionali: refrattari, ceramiche per usi elettrici, smalti, porcellane. Neoeramiche. Tenacizzazione mediante trasformazione di fase nella zirconia. Conducibilità elettrica nelle ceramiche.

### **I leganti**

I leganti aerei: Il gesso e la calce. I leganti idraulici: la calce e il cemento Portland. Le reazioni di idratazione. L'acqua di impasto. Struttura e proprietà allo stato indurito. Degrado del cemento. Cementi speciali (ferrico, pozzolanico, d'alto forno, alluminoso). Additivi per cemento.

### **I materiali polimerici**

Natura delle macromolecole. Peso molecolare. Polimeri lineari, ramificati e reticolati. Copolimeri. I polimeri amorfi. Natura della cristallinità nei polimeri. La struttura sferulitica. Parametri molecolari che controllano la transizione vetrosa. Proprietà fisiche e meccaniche dello stato vetroso. Il crazing. Deformazioni plastiche nei polimeri semicristallini. Le fibre.

Le gomme: natura e origine della elasticità delle gomme. La vulcanizzazione. Le gomme termoplastiche. I polimeri termoindurenti: struttura e proprietà generali. Gelazione e vetrificazione. Diagrammi TTT. Resine fenoliche, melamminiche, ureiche, poliestere, epossidiche e uretaniche.

### **I materiali compositi**

Materiali compositi particellari. I materiali induriti per dispersione: leghe SAP e ODS. Il compocasting. Materiali compositi a fibre lunghe. Anisotropia delle proprietà. Tipi e caratteristiche delle fibre più comuni: vetro, organiche (poliestere, nylon aromatici, polietilene), carbonio, ceramiche e metalliche. Tecniche più comuni di produzione: hand lay up, filament winding, pultrusion, RTM, vaccum bag, SMC. Materiali compositi ceramici. Il sistema carbonio-carbonio. Materiali compositi laminari.

### **La corrosione**

Meccanismo di accrescimento delle pellicole di ossido e loro proprietà. Rapporto Pilling-Bedworth. Corrosione umida. Serie elettrochimica e galvanica. Fenomeni di polarizzazione (di attivazione, per diffusione, per passivazione). Corrosione del ferro in vari ambienti. Corrosione galvanica, per differenza di concentrazione, per aereazione differenziale e per correnti vaganti. Effetto degli stati tensionali. La corrosione negli acciai inox. Metodi di protezione: passivazione, modifica dell'ambiente, inibitori, protezione catodica e anodica, rivestimenti. Leghe resistenti alla corrosione: acciai al cromo, al cromo-nichel, leghe nichel-rame. Il titanio.

**Combustibili:** poteri calorifici, aria necessaria, composizione dei fumi, temperatura di combustione. **Acque:** durezza e suo controllo.

**Esercitazioni.** Sono basate sulla esemplificazione numerica di argomenti del programma, e sulla descrizione, condotta mediante sussidi audiovisivi, della struttura dei materiali descritti, dei metodi di prova e delle applicazioni industriali.

Testo consigliato

D.R. Askeland, *The Science and Engineering of Materials*, Chapman and Hall, 3rd S.I. Edition (1996), cui dovranno aggiungersi integrazioni per specifici argomenti.

## **TECNOLOGIA DEI MATERIALI CHIMICA APPLICATA**

**000862**

(per gli allievi di Ingegneria Edile e Ambiente e Territorio)

**Prof. Giovanni DOTELLI**

*Programma d'esame*

**I materiali in relazione alle forze intermolecolari:** metallici, ceramici, polimerici.

**Struttura dei solidi.** Strutture cristalline tipiche. Strutture complesse (silice, silicati, zeoliti). Sistemi amorfi e parzialmente cristallini.

**Trasformazioni di fase ed equilibri di fase.** Regola delle fasi di Gibbs. Leghe binarie. Applicazioni: diagramma di stato ferro-carbonio (acciai, ghise); diagramma di stato silice-allumina.

**Difetti e imperfezioni nei solidi:** vacanze, dislocazioni, bordi dei grani.

**Cinetica delle trasformazioni di fase:** diffusione, nucleazione, crescita dei cristalli. Effetti dei trattamenti termici sulla morfologia e sulle proprietà.

**Proprietà meccaniche dei materiali ideali e reali.** Fragilità, tenacità, resistenza a fatica.

**Metalli ferrosi:** leghe ferro-carbonio, acciai inossidabili.

**Metalli non ferrosi:** rame, zinco, alluminio. Leghe: bronzo, ottone. Loro applicazioni in edilizia.

**Ceramici e leganti.** Argille. Laterizi e loro tecnologia. Refrattari e superrefrattari. Materiali isolanti termici (vetro e argille espanse, lana di vetro e di roccia). Vetri, vetri resistenti all'urto, vetri fotosensibili, vetro-ceramiche.

Leganti aerei: gesso, calce. Leganti idraulici: cementi portland. Presa e indurimento del cemento. Cementi speciali.

Acqua di impasto, inerti, additivi. Malte e calcestruzzo visti come materiali compositi. Conglomerati alleggeriti, conglomerati prefabbricati e fibrorinforzati.

**Materiali polimerici:** termoplastici, amorfi e cristallini, termoindurenti, gomme, proprietà meccaniche e fisiche.

Applicazioni all'edilizia, pannelli, tubazioni, adesivi e sigillanti, impermeabilizzanti, membrane per discariche, fibre. Il legno.

**Il degrado dei materiali:** degrado del calcestruzzo, corrosione dei metalli, ossidazione e degrado dei polimeri. Prevenzione e rimedi: pitture e vernici.

#### *Esercitazioni*

Consistono in applicazioni numeriche e complementi.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta e una orale.

#### *Libri consigliati*

W.F. Smith *Scienza e Tecnologia dei materiali*, Me Graw Hill, Milano 1995

Mario Collepari *Scienza e Tecnologia del calcestruzzo*, U. Hoepli, Milano 1991

## **TECNOLOGIA DEI MATERIALI E CHIMICA APPLICATA**

**000862****Prof. Pietro PEDEFERRI**

#### *Programma d'esame*

Principali materiali di interesse per l'ingegnere civile. Classificazione. Considerazioni energetiche ed economiche.

**Comportamento meccanico.** Regime elastico; snervamento; rottura duttile e fragile. Prove di trazione, compressione, flessione, durezza, fatica, resilienza.

**Materiali metallici.** Struttura cristallina. Difetti puntiformi e lineari. Fenomeni di diffusione. Meccanismi di rafforzamento. Deformazione elastica e plastica. Struttura delle leghe. Diagrammi di stato. Diagramma ferro-carbonio. Acciai: velocità di raffreddamento e trasformazioni di fase; curve isoterme; trattamenti termici di ricottura, tempra, normalizzazione, rinvenimento. Caratteristiche principali dei materiali metallici di maggior interesse per l'ingegnere civile: acciai di uso generale e speciali, acciai inossidabili, ghise, rame, alluminio e loro leghe. Metodi di produzione, lavorazione e finitura. Armature per c.a. e c.a.p.

**Materiali leganti.** Calce. Gesso. Cemento portland: materie prime e processi di produzione; composizione; idratazione; sviluppo della microstruttura; calore di idratazione; presa e indurimento; struttura porosa della pasta di cemento e i suoi legami con la resistenza meccanica e la permeabilità. Cementi speciali: ferrico, pozzolanico, d'altoforno, alluminoso ed espansivo.

**Malte e calcestruzzi.** Aggregati: caratteristiche fisiche e chimiche; distribuzione granulometrica; reazione alcali-aggregati; impurezze dannose. Additivi per calcestruzzo: acceleranti, ritardanti, aeranti, fluidificanti. Calcestruzzo fresco: lavorabilità, segregazione, bleeding. Calcestruzzo indurito: permeabilità; proprietà meccaniche; ritiro igrometrico; scorrimento viscoso; fessurazione. Proporzionamento dell'impasto (mix design). Calcestruzzi speciali.

**Materiali ceramici.** Materie prime e processi di produzione dei principali ceramici utilizzati in edilizia. Materiali a pasta porosa e compatta; struttura; proprietà. Laterizi; piastrelle; porcellane e grès; refrattari.

**Vetri.** Stato vetroso; vetri comuni; speciali e temprati; composizione; tecnologie produttive e proprietà.

**Materiali polimerici.** Struttura e reazioni di polimerizzazione. Cristallinità e transizioni. Proprietà meccaniche e comportamento viscoelastico. Tecnologie di produzione e di lavorazione. Proprietà e applicazioni dei polimeri di massa (PE, PVC, PS, PP). Materiali polimerici per il ripristino: resine epossidiche e poliuretatiche; lattici, silani.

**Legno.** Struttura; anisotropia; densità; umidità; difetti; proprietà meccaniche. Legno lamellare.

**Materiali compositi,** (cenni).

**Materiali impermeabilizzanti,** (cenni).

**Degrado e prevenzione.** Corrosione dei metalli: natura elettrochimica; aspetti termodinamici; aspetti cinetici; passività; accoppiamenti galvanici; fattori relativi al metallo e all'ambiente; forme di attacco localizzato. Metodi di prevenzione e di protezione: controllo delle caratteristiche del metallo e dell'ambiente; rivestimenti protettivi (organici e metallici), protezione catodica. Corrosione e protezione di strutture metalliche esposte all'atmosfera o a contatto con acque o terreni. Processi fisici e chimici che causano il degrado del calcestruzzo; relazione tra durabilità e permeabilità. Corrosione delle armature nel calcestruzzo: da carbonatazione, da cloruri; influenza dell'ambiente e delle caratteristiche del calcestruzzo; prevenzione. Fenomeni di degrado dei materiali polimerici e dei compositi. Degrado del legno e trattamenti.

**Acque.** Aspetti generali. Analisi. Durezza e suo controllo.

**Combustibili.** Aspetti generali della combustione. Classificazione dei combustibili. Reazioni di combustione. Potere calorifico.

#### *Libri consigliati*

A. Cigada (a cura di): *Elementi di struttura e proprietà dei materiali metallici*, Ed. CittàStudi, Milano.

P. Pedferri, A. Cigada: *Elementi di corrosione e protezione*, Ed. CittàStudi, Milano.

L. Bertolini, P. Pedferri: *Tecnologia dei materiali: leganti e calcestruzzo*, Ed. CittàStudi, Milano.

Saranno fornite agli allievi dispense per le parti del corso non coperte dai volumi sopra indicati.

## **TECNOLOGIA DEI MATERIALI METALLICI** **Prof. Gianfranco TOSI**

**AR0138**

### *Programma d'esame*

1. Accenni tecnologici sui mezzi di fabbricazione dell'acciaio. Importanza tecnica ed economica del rilievo dei rendimenti e dei consumi specifici. Dalla secchia alla fossa. Caratteristiche degli acciai calmati, effervescenti e semicalmati. Lingotti e lingottiere, colata diretta ed in sorgente, dimensione dei lingotti ed influenza sulla qualità del prodotto. La colata continua dell'acciaio ed apparati ausiliari.

2. Laminazione a caldo. Teoria della laminazione. Calibrazioni. Calcoli degli sforzi di laminazione e delle relative potenze assorbite. Forni di riscaldamento. Laminatoi e loro suddivisione, caratteristiche costruttive e di lavoro. Sbozzatori. Blooming, slabbing, duo reversibile-trio. Condizionatura sbozzati. Treni bilette. Treni per profilati grossi e medi. Treni per vergella. Treni per nastri e lamiera.
3. Laminazione a freddo del nastro e relativo trattamento termico. Difetti. Produzione della latta e delle lamiere zincate.
4. Trafila filo e trafila barre. Processi di finitura dei prodotti laminati.
5. Produzione tubi senza saldatura, per laminazione al banco a spinta, alla pressa ad estrusione. Tubi saldati di piccolo e grande diametro. Laminazione a freddo e trafila tubi.
6. Fucinatura. Operazioni elementari di fucinatura. Stampaggio e norme generali regolanti tale operazione. Campi di attività delle macchine: magli, presse, apparati ausiliari. Manipolatori.
7. Fonderia ghisa ed acciaio. Caratteristiche progettuali di un getto. Modelli. Terre e sabbie di fonderia e loro preparazione. Formatura: a macchina ed a mano. Cubilotto e suo esercizio. Cicli di lavorazione ed operazioni di finitura. Collaudi. Difetti di fonderia. Prove tecnologiche di produzione.
8. Lavorazione plastica di altri metalli: rame, alluminio, cenni.

#### *Esercitazioni*

Consisteranno in applicazioni numeriche di quanto esposto nelle lezioni; es: calcolo di calibrazioni e predisposizione di una scheda per un determinato prodotto, calcolo della potenza di laminazione, studio di una progettazione di un impianto in funzione di una data produzione annua. Impostazione dei costi industriali di trasformazione. A complemento del corso di esercitazioni viene svolto un programma di visite a stabilimenti della durata di 4 ore per ogni visita.

#### *Libri consigliati*

- A. Rossini, G. Tosi: *Tecnologia dell'acciaio*, CUSL, 1990.  
 A. Rossini, G. Tosi: *Dispensa di fonderia*, CUSL.  
 G. Spurg, T. Stöferle: *Enciclopedia delle lavorazioni meccaniche*, Voi. 2, Tecniche Nuove.

## **TECNOLOGIA DEI MATERIALI NUCLEARI**

### **Prof. Alessandro FACCHINI**

**AV0026**

#### *Programma d'esame*

#### **1. Generalità sui materiali: struttura e proprietà.**

1.1.) Sistemi cristallini ed amorfi. 1.2.) Orientazione e direzione nell'edificio cristallino (indici di Miller). 1.3.) Difetti reticolari: vacanze, interstiziali, dislocazioni e difetti di volume. 1.4.) Proprietà fisiche, meccaniche e chimiche. 1.5.) Diagrammi di stato.

#### **2. La "combustione" nucleare.**

2.1.) La reazione nucleare di fissione. 2.2.) La reazione nucleare di fusione (D/T)

#### **3. Il reattore e l'impianto nucleare a fissione.**

3.1.) Tipi di reattore e sistemi di impianto. 3.2.) Classificazione dei materiali radioattivi.

#### **4. Il combustibile.**

4.1.) Ciclo tecnologico: sistema aperto (senza riciclo di U e Pu) e sistema chiuso (con riciclo di U e Pu). 4.2.) Risorse naturali di uranio: lavorazione dei minerali e produzione del grezzo. 4.3.) Raffinazione e ottenimento del prodotto a purezza nucleare. 4.4.) Prodotti per la fabbricazione di elementi di combustibile (EdiC) a uranio naturale. 4.5.) Prodotti per la fabbricazione di EdiC a uranio arricchito. 4.6.) Fabbricazione EdiC per diversi tipi di reattore. 4.7.) La combustione in reattore e

caratterizzazione del combustibile irradiato. 4.8.) Gestione del combustibile irradiato a valle del reattore: i rifiuti radioattivi.

**5. Fluidi termovettori: liquidi e aeriformi.**

**6. Moderatori: solidi e liquidi.**

**7. Assorbitori di neutroni.**

**8. Schermature: materiali e dimensionamento.**

**9. Materiali strutturali.**

**9.1.** ) Acciai inossidabili e basso-legati. **9.2.)** Leghe di zirconio.

**10. Effetti delle radiazioni: le radiazioni generate in reattore.**

**10.1.** ) Effetti sui fluidi. **10.2.)** Effetti sui solidi.

**11. Sistemi a fusione termonucleare controllata.**

**11.1.** ) Ciclo del combustibile. **11.2.)** I materiali.

#### *Esercitazioni*

Verranno svolte esercitazioni atte a verificare i metodi di calcolo e di progetto relativi ad alcuni capitoli del corso quali: caratterizzazione del combustibile irradiato, dimensionamento di schermature, valutazione dei fabbisogni di servizi del ciclo del combustibile, ecc.

#### *Modalità d'esame*

L'esame (solo orale) comporta l'impostazione di un calcolo su uno degli argomenti svolti durante il corso e una o due domande atte a dimostrare il grado di conoscenza e maturità raggiunto dall'allievo. Durante lo svolgimento del calcolo l'allievo può valutare autonomamente la sua preparazione e decidere di conseguenza l'opportunità di procedere nella prova.

#### *Libri consigliati*

Appunti delle lezioni del corso (distribuiti periodicamente).

B. R.T. Frost, M.B. Waldron: *Nuclear Reactor Materials*, Tempie Press, London, 1959;

C. O. Smith: *Nuclear Reactor Materials*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1967;

A.B. McIntosh, T.J. Heal (editors): *Materials for Nuclear Engineers*, Tempie Press, London, 1960;

A. Facchini: *Ciclo del combustibile dei reattori nucleari a fissione*, ed. CUSL, 1987;

J. Sauteron: *Les combustibles nucléaires*, Hermann, Paris, 1965;

M. Benedict, T.H. Pigford, H.W. Levi: *Nuclear Chemical Engineering*, McGraw Hill, New York, 1981.

B. M. Ma: *Nuclear Reactor Materials and Applications*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1983.

C. R. Tipton (editor): *Reactor Handbook*, Voi. I, Materials, Interscience Pubi., New York, 1960;

P. Cohen: *Water Coolant Technology of Power Reactors*, Gordon & Breach, Science Publishers, New York, 1970.

Tutti i testi sono consultabili nelle Biblioteche Centrale e del Dipartimento di Ingegneria Nucleare.

## **TECNOLOGIA DEL PETROLIO E PETROLCHIMICA**

**AF0114**

**Prof. Renato DEL ROSSO**

#### *Programma d'esame*

**Il petrolio tra le altre fonti energetiche.** Dati statistici. Cenni di geologia del petrolio, sue origini, consistenza delle riserve.

**Composizione del petrolio.** Idrocarburi paraffinici, naftenici, aromatici. Composti solforati, azotati, ossigenati, altri. La classificazione dei grezzi, indice di correlazione, fattore di caratterizzazione.

**Caratterizzazione dei prodotti petroliferi.** Peso specifico. Tensione di vapore Reid. Punti di infiammabilità, fioco, autoaccensione. Le curve di distillazione ASTM, TBP, EFV e loro legami. Effetto della pressione sulle curve di distillazione. Costruzione dei diagrammi di stato liquido-vapore. Colore. Viscosità, indice di viscosità. Punti di scorrimento, di intorbidamento. Punto di fumo e char value. Tenori di zolfo, acidità, ceneri, acqua e sedimenti. Penetrazione, punto di rammollimento, indice di penetrazione.

**Stima delle proprietà fisiche dei prodotti petroliferi.** Loro dipendenza dalla temperatura. Calore di combustione. Calore specifico. Contenuto entalpico. Calore latente di vaporizzazione. Coefficiente di espansione dei liquidi. Relazione tra pressione, temperatura e volume dei vapori. Viscosità di liquidi e vapori in funzione di temperatura e pressione.

**Prodotti di raffineria.** Specificazioni. Gas combustibili. Gas di petrolio liquefatti. Benzine e carburanti. Naf a e solventi. Petrolio, kerosene e combustibili per reattori. Gasoli. Combustibili diesel. Oli combustibili. Lubrificanti e grassi. Asfalti e bitumi.

**La raffineria.** Classificazione delle raffinerie. La sequenza delle operazioni di raffinazione. Analisi dello schema di lavorazione in relazione ai tipi di grezzo e alla domanda di mercato.

**Processi di raffineria.** Trattamenti primari. Distillazione del grezzo: la unità atmosferica, la unità sotto vuoto. Coking. Processi termici. Reforming catalitico. Isomerizzazione. Cracking catalitico: processi a letto fluido, processi a letto mobile. Hydrotreating e desolfurazione. Eliminazione delle cere.

**Processi di supporto.** Produzione di idrogeno. Unità di trattamento gas. Abbattimento gas acidi. Recupero dello zolfo. Processi di depurazione.

**Catalisi e chimica dei processi catalitici.**

**Chimica dei processi termici.**

**Combustione.**

**Equilibrio liquido-vapore in miscele complesse.**

**Criteri di sicurezza.**

Cenni di valutazioni economiche. Stima delle curve di costo. Relazioni resa-costo.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consisterà in un colloquio sugli argomenti svolti durante il corso. Verranno esaminati e discussi gli schemi di impianto e le alternative di processo, saranno proposti confronti tra loro in relazione alle specificazioni dei prodotti desiderati. Saranno chiesti semplici esempi di calcolo.

#### *Libri consigliati*

G. Guerrieri *Impianti petroliferi*, Ed. CLUP (1980);

G. Pastonesi, M. Avanzi, A. Morpurgo *Impianti petroliferi APE Mursia* (1962);

W.L. Nelson *Petroleum refinery engineering* McGraw-Hill (1968);

J.H. Gary, G.E. Handwerk *Petroleum refining. Technology and economics* M. Dekker (1975).

**TECNOLOGIA E CHIMICA APPLICATE ALLA TUTELA DELL'AMBIENTE 000847**  
**Prof.ssa Donatella BOTTA**

*Programma d'esame*

**Inquinamento e ambiente.**

- Generalità sul fenomeno dell'inquinamento.
- Inquinanti di origine naturale e antropica; inquinanti primari e secondari, inorganici e biologici; radionuclidi.
- Valutazione del rischio in relazione alla quantità prodotta, alla tossicità, reattività, degradabilità, accumulabilità degli inquinanti.
- Interdipendenza dell'inquinamento delle tre componenti ambientali.
- Influenza dell'inquinamento sui cicli naturali del carbonio, dell'azoto e dello zolfo e sulla distribuzione di alcuni elementi tossici.
- Alterazione della struttura dell'ecosistema.

**Cenni sulla legislazione italiana e comunitaria in materia di inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo. Metodi di analisi e monitoraggio dell'inquinamento.**

- Concetti analitici generali. Qualità delle misure. Convalida dei procedimenti analitici.
- Parametri di gruppo e determinazione di singoli inquinanti.
- Tecniche di campionamento e conservazione dei campioni.
- Tecniche di isolamento degli inquinanti dalla matrice in funzione dei limiti di sensibilità richiesti.
- Cenni alle tecniche strumentali da processo e da laboratorio.

**Tecniche di disinquinamento e bonifica.**

- Tecnologie per la depurazione dell'acqua.
- Metodologie per lo smaltimento dei rifiuti; fissazione e solidificazione dei fanghi.
- Tecnologie di bonifica e recupero del terreno.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni saranno utilizzate per approfondire, mediante interventi degli allievi, gli argomenti trattati durante le lezioni.

*Testi di riferimento*

C.N. Sawyer, P.L. McCarty: *Chemistry for Environmental Engineering*, McGraw-Hill Book Company, 1978.

W.W Eckenfelder Jr: *Industrial water Pollution Control*, II ed. McGraw-Hill Book Company, 1978.

R.A. Bailey, H.M. Clarke, J.Ferris, S.Krause, R.L. Strong: *Chemistry of the Environment*, Academic Press, New York, 1978.

J.H. Seinfeld: *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, J. Wiley & Sons, New York, 1986.

C. Baird: *Environmental Chemistry*, W. H. Freeman & Company, New York, 1995

Il Docente fornirà prima delle lezioni appunti a complemento di quanto esposto nei testi sopra citati.

**TECNOLOGIA MECCANICA****AR0060****Proff. Antoniomaria DI ILIO, Quirico SEMERARO***Programma d'esame***Introduzione al corso.**

Generalità e classificazione delle lavorazioni meccaniche. Relazione tra tecnologia e prodotto. Le tecnologie come trasformazione di stati.

**Prove tecnologiche e meccaniche.**

Prova di trazione. Prova di durezza. Prova di resilienza. Resistenza a fatica. Prove tecnologiche: colabilità, temprabilità, piegatura, fucinataura, imbutitura.

**Fonderia.**

Principi generali sulla fusione e solidificazione dei metalli. Classificazione dei principali processi di formatura e colata: in terra, con placca modello, in conchiglia, sottovuoto, pressofusione, centrifuga, a cera persa. Dimensionamento dei modelli, delle forme, delle materozze, dei canali di colata. Difetti, controllo e finitura dei getti.

**Lavorazioni per asportazione di truciolo.**

Angoli di taglio e rappresentazione unificata degli utensili. Meccanismi di formazione del truciolo. Meccanica del taglio dei metalli. Fattori influenzanti le forze di taglio. Determinazione sperimentale e teorica delle forze di taglio. Cause di degrado degli utensili. Scelta delle condizioni ottimali di taglio. Struttura, componenti e comandi delle macchine utensili. Lavorazioni di tornitura. Lavorazioni di fresatura. Lavorazioni e macchine con moto di taglio rettilineo alternativo. Lavorazioni di rettificazione. Difettosità superficiali e di forma indotte dalle lavorazioni. Evoluzione delle macchine utensili: dal Controllo Numerico agli FMS.

**Lavorazioni per deformazione plastica.**

Plasticità dei metalli. Laminazione. Trafilatura. Estrusione. Fucinatura e stampaggio. Lavorazioni della lamiera. Difetti indotti dalle lavorazioni, incrudimento, cricche, tensioni residue, anisotropia.

**Lavorazioni non convenzionali.**

Cenni sui principali metodi di lavorazione non convenzionali. Elettroerosione. Lavorazioni con getto abrasivo. Laser. Lavorazioni con ultrasuoni. Lavorazioni chimiche ed elettrochimiche. Fascio elettronico.

**Elementi di metrologia e controllo della qualità.**

Principali strumenti per la misura ed il controllo dimensionale. Cenni sul controllo della qualità dei prodotti industriali.

*Esercitazioni*

Richiami sulle proprietà dei materiali. Applicazione delle principali norme di disegno tecnico meccanico. Esercitazioni numeriche di ausilio alle lezioni. Cicli di fonderia. Cicli di lavorazione.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste nella discussione degli argomenti del programma e di un progetto, a validità temporale limitata, svolto durante il corso.

*Libri consigliati*

Appunti delle lezioni.

Mazzoleni F.: *Tecnologie dei Metalli*, Voli. 1,2,3, UTET, 1978.

Micheletti G.F.: *Tecnologia Meccanica*, Voli. 1,2, UTET, 1977

Spur G, Stoferle T.: *Enciclopedia delle lavorazioni meccaniche*, Voli. 3,4 - Tecniche Nuove, 1983.

Giusti F., Santochi M.: *Tecnologia Meccanica e studi di fabbricazione*, Ambrosiana, 1992.

Cigada A. : *Struttura e proprietà dei materiali metallici*, CittàStudi, 1993

**TECNOLOGIA MECCANICA I****AR0056****Proff. Roberto PACAGNELLA, Giovanni RESTELLI***Programma d'esame***1) Nozioni introduttive sui materiali.**

Risultati delle principali prove meccaniche (trazione, compressione, durezza, resilienza) e la funzione dei trattamenti termici nei riguardi della lavorabilità dei metalli e delle loro leghe. Proprietà meccaniche delle materie plastiche.

**2) Lavorazioni per fusione.**

Principi generali sulla fusione e sui fenomeni che nascono durante la solidificazione e il raffreddamento dei materiali metallici. La successione delle operazioni per produrre un getto con particolare riguardo alla ghisa e alle leghe leggere. Descrizione dei vari sistemi di formatura e di colata (in terra, in motta, con resine indurenti a caldo e a freddo, con modello a perdere, in conchiglia, pressofusione, iniettofusione, colata centrifuga, fusione di precisione). Principi per il dimensionamento delle materozze. Descrizione dei principali mezzi fusori.

**3) Lavorazioni per deformazione plastica.**

Plasticità dei materiali metallici, deformazioni permanenti. Descrizione dei vari processi: laminazione, trafilatura, estrusione, stampaggio a caldo e a freddo, tranciatura, imbutitura, piegatura, profilatura, definendo lo stato di sollecitazione e i fenomeni che intervengono nel processo stesso. Metodi per il calcolo della forza e dell'energia nelle operazioni di trafilatura, stampaggio, tranciatura e imbutitura. Descrizione delle varie macchine per lavorazioni per deformazione plastica (magli, fucinatrici, presse a vite, presse meccaniche, presse idrauliche, elettrorcalcatrici) e del loro campo di impiego.

**4) Lavorazioni per asportazione di truciolo.**

Il taglio dei materiali metallici: meccanismi di formazione del truciolo, geometria degli utensili, velocità di taglio, forza e potenza richieste nelle principali lavorazioni (tornitura, fresatura, foratura, brocciatura e rettifica). Determinazione delle condizioni economiche di taglio mediante metodi deterministici e stocastici (affidabilità dell'utensile, tempo produttivo ottimale, velocità di taglio economica). Descrizione delle principali macchine utensili (struttura, organi del moto di taglio e di avanzamento): tomi, trapani, fresatrici orizzontali e verticali, alesatrici, rettificatrici, brocciatrici, limatrici, piallatrici e macchine per il taglio degli ingranaggi. Schede di macchina. Descrizione delle principali lavorazioni eseguibili su tali macchine. Macchine utensili a controllo numerico e cenni sulla programmazione di macchine a due e a tre assi.

**5) Nozioni fondamentali di saldatura.**

Saldatura autogena per fusione a gas, all'arco elettrico; saldatura a resistenza elettrica e ad attrito; saldobrasatura.

**6) Macchine per la lavorazione delle materie plastiche.***Esercitazioni*

L'allievo, durante il corso, dovrà svolgere elaborati sui seguenti argomenti:

- Fonderia: dimensionamento del modello, delle anime e delle materozze per un getto fuso in terra; calcolo della spinta metallostatica.
- Deformazione plastica: tranciatura e imbutitura (calcolo della forza e dell'energia richieste); stampaggio a caldo (dimensionamento degli stampi e calcolo della forza e dell'energia).
- Lavorazioni per asportazione di truciolo: calcolo della forza e della potenza nelle principali lavorazioni; determinazione del tempo produttivo e della velocità economica di taglio (con metodo deterministico e stocastico); ciclo di lavorazione a controllo numerico; filettatura al tornio; lavorazioni di foratura e fresatura.

Inoltre sono previste esercitazioni pratiche in officina.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale sulla base del programma di insegnamento. Gli elaborati, svolti dall'allievo durante il corso, dovranno essere presentati all'esame dove potranno formare oggetto di ulteriore interrogazione.

*Testi consigliati*

AA. VV.: *Tecnologia meccanica: lavorazioni per fusione e deformazione plastica*, CittàStudi.

AA. VV.: *Tecnologia meccanica: lavorazioni per asportazione di truciolo*, CittàStudi.

*Altri libri consigliati*

G. Spur e T. Stoefler: *Enciclopedia delle lavorazioni meccaniche*, Voli. 3 e 4, Tecniche Nuove.

G. F. Micheletti: *Tecnologia meccanica*, Voli. I e II, UTET.

**TECNOLOGIA MECCANICA II****AR0053****Prof. Vincenzo TAGLIAFERRI***Programma d'esame***Introduzione al Corso.**

Elementi per una "teoria delle trasformazioni". Rapporto tra sistema tecnologico di trasformazione e materiale. Le tecnologie di produzione innovative e i materiali strutturali innovativi (proprietà, macro-geometria, microgeometria).

**Processi Tecnologici Innovativi.**

Tecnologia delle superfici. Caratterizzazione dello stato superficiale: tolleranze di forma, finitura ed integrità superficiale. Relazione tra parametri di processo, stato superficiale e funzionalità delle superfici. Procedimenti di levigatura e di superfinitura. Convenzionali ed innovativi. Determinazione dei parametri di lavorazione. Determinazione delle forze di taglio.

Processi di lavorazione non convenzionali. Ultrasonic Machining. Water-Jet Machining. Abrasive-Jet Machining. Chemical Machining. Electrochemical Machining. Electrolytic Grinding. Electrical-Discharge Machining/Wire Electrical-Discharge Machining. Laser Beam Machining. Laser Assisted Machining. Laser Forming. Electrom Beam Machining. Plasma-Arc Cutting. Lavorazioni ad alta velocità. Superplasticità. Per ciascuno dei processi considerati vengono presi in esame: principio fisico di lavorazione, interazione utensile e materiale, materiali lavorabili, principali parametri tecnologici e relativo campo di variabilità, schema di funzionamento dei sistemi, applicazioni industriali, risultati tecnici ed economici.

**Processi di saldatura.**

Convenzionali: Saldature autogene ed eterogene, saldatura a fiamma ossiacetilenica, saldatura ad arco, atmosfera controllata, resistenza, alluminotermica.

Non convenzionali: Saldatura per bombardamento elettronico. Saldatura laser. Saldatura ad ultrasuoni. Danneggiamento termico dei lembi saldati. Difettosità e frattura dei giunti saldati. Metodologie di controllo delle saldature.

**Compositi strutturali**

Comportamento meccanico dei materiali compositi: principi di base, rinforzo con fibre continue e discontinue.

Tecnologie di produzione dei costituenti: fibre, matrici, strutture tipiche, proprietà e difetti.

Tecnologie di produzione dei compositi. Matrice polimerica: fabbricazione a stampo aperto e in stampo chiuso. Matrice metallica: produzione da metallo allo stato solido e allo stato liquido, tecniche di fabbricazione in-situ.

Tecnologie di lavorazione: Taglio, foratura, contomatura e finitura. Difetti e modifiche delle proprietà indotti dalle lavorazioni.

Impiego dei compositi nelle macchine di misura e nelle macchine utensili.

#### **Automazione dei processi.**

Principi di controllo numerico delle macchine utensili. Componenti fisici di un CN. Programmazione manuale (standard ISO). Programmazione automatica. Interfaccia con i sistemi CAD - Computer Aided Design. Tipologia dei sistemi di controllo. Direct Numerical Control. Controllo adattivo (Adaptive Control Constraint, Adaptive Control Optimization).

#### **Progettazione e gestione delle tecnologie innovative.**

Criteri tecnologici di selezione dei processi. Criteri economici di valutazione. La tecnologia come variabile strategica. Innovazione tecnologica: aspetti macro, trasferimento alle imprese. Il management della ricerca e sviluppo.

#### *Esercitazioni*

Realizzazione di part program, scelta dei parametri di lavorazione ed esecuzione di particolari meccanici su macchine utensili a controllo numerico.

Esempi di impiego delle tecnologie innovative con scelta dei parametri di lavorazione e valutazioni economiche.

#### *Testi consigliati*

Appunti delle lezioni

J.A. Me Geough: *Advanced Methods of Machining* - Chapman and Hall, 1988

E. Rinaldi: *Saldatura e Taglio dei Metalli* - Hoepli, 1988.

## **TECNOLOGIE CHIMICHE SPECIALI**

**AF0115**

**Prof. Carlo MAZZOCCHIA**

#### *Programma d'esame*

#### **PARTE GENERALE.**

Solfonazione, Nitrazione, Esterificazione, idrolisi e saponificazione. Alchilazione. Idrogenazione. Cenni su alcune reazioni attivate per via fotochimica. Influenza di solventi non acquosi in alcune reazioni di interesse industriale.

#### **PARTE SPECIALE.**

**Grassi:** Proprietà chimiche e fisiche. Processi di estrazione. Idrogenazione degli oli.

**Saponi e detersivi:** Generalità e proprietà chimiche e fisiche. Processi di fabbricazione dei saponi. Relazione tra struttura e proprietà di detersivi sintetici del tipo anionico, cationico e non ionico. Processi di fabbricazione dei detersivi. Biodegradazione dei detersivi.

**Cellulosa:** Richiami sulla struttura e proprietà chimiche e fisiche. Processi di estrazione e purificazione. Cenni sull'industria della carta. Eteri della cellulosa. Esteri della cellulosa. Acetilcellulosa. Alcali cellulosa. Nitrocellulosa. Xantecellulosa.

**Le fibre:** Concetti fondamentali. Struttura delle fibre. Sintesi delle fibre. Orientamento e cristallinità. L'influenza dell'orientamento sulle proprietà delle fibre. Struttura chimica e proprietà delle fibre.

**Fibre artificiali:** Definizione e caratteristiche.

**Fibre sintetiche:** Definizione.

I monomeri: acido adipico, esametilendiammina, lattarne 3, lattarne 4, lattarne 6, acido tereftalico. I lattami per i plastici: lattarne 11, lattarne 12.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

*Libri consigliati*

Per il corso è consigliabile il II volume del *Trattato di Chimica Industriale* di Girelli, Matteoli e Parisi, Zanichelli Editore, Bologna.

**TECNOLOGIE DELLE COSTRUZIONI AERONAUTICHE****AL0114****Prof. Giuseppe SALA***Programma d'esame*

**Materiali a legge costitutiva elastoplastica:** parametri di scelta, legge costitutiva, struttura e deformazione dei solidi policristallini, leghe di alluminio, titanio, magnesio, ferro-carbonio, altre leghe e metalli speciali; tecnologie di deformazione plastica a freddo, deformazione superplastica, deformazione plastica a caldo, fusione, lavorazioni per asportazione di truciolo, lavorazioni chimiche ed elettrochimiche, trattamenti termici e superficiali; saldatura, metodi di collegamento meccanici.

**Materiali a legge costitutiva iperelastica:** legge costitutiva; struttura chimica degli elastomeri; tipologie e tecnologie.

**Materiali a legge costitutiva viscoelastica:** legge costitutiva; struttura chimica dei polimeri; tipologie e tecnologie; ablativi, refrattari e protezioni termiche; film e rivestimenti speciali; trasparenti, policarbonati e polimetilmetacrilati.

**Materiali a legge costitutiva elastica ortotropa:** legge costitutiva, teoria della laminazione, criteri di resistenza, sforzi residui igrotermici, effetti di bordo e di intaglio; le fibre, le matrici, le schiume, i nidi d'ape; tecnologie di formatura in pressa ed in autoclave pultrusione e tube rolling; avvolgimento e braiding; tecnologie dei compositi termoplastici; RTM, RRIM, SMC, BMC; materiali compositi a matrice metallica; GLARE, ARALL; materiali compositi a matrice ceramica, vetri, ceramiche; legni; lavorazioni meccaniche, water-jet, laser, collegamenti meccanici, incollaggi, sandwich, inserti, attrezzi per la formatura, influenza delle condizioni ambientali.

**Smart materials:** compositi con fibre ottiche, leghe a memoria di forma, ceramiche piezoelettriche, fluidi elettroreologici.

**Problematiche di produzione, assemblaggio, riparazione, manutenzione.**

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consisteranno in seminari monografici sui più importanti argomenti trattati durante il corso e tenuti da esperti del mondo dell'industria aeronautica.

*Libri consigliati*

Locati: *Corso di Tecnologie Aeronautiche*, Levrotto & Bella - Torino;

Marchetti e Felli: *Tecnologie Aeronautiche*, Editoriale ESA - Roma;

Crivelli Visconti: *Materiali Compositi, Tecnologie e Progettazione*, Tamburini - Milano;

Guibert: *Fabrication des Avions et Missiles*, Dunod - Parigi;

Panseri: *Manuale di Tecnologia delle Leghe Leggere da Lavorazione Plastica*, Hoepli - Milano;  
Tsai: *Composite Design*, Think Composites - Dayton;  
Vinson e Sierakowsky: *The Behaviour of Structures Composed of Composite*, Martinus Nijhoff - Amsterdam;  
Lubin: *Handbook of Composites*, Van Nostrand - New York;  
Schwartz: *Composite Materials Handbook*, McGraw Hill - Londra;  
Alien: *Analysis and Design of Structural Sandwich Panels*, Pergamon Press - Londra;  
Plantema: *Sandwich Construction*, John Wiley & Sons - New York.

## TECNOLOGIE DELLE ENERGIE RINNOVABILI

AK0104

Prof. Mario GAIA

### *Programma d'esame*

**Quantificazione del potenziale delle principali fonti permanenti di energia:** solare con captazione diretta, produzione di biomassa, energia eolica, geotermica, gradiente termico oceanico, maree e moto ondoso.

**Classificazione degli impieghi di energia da fonti permanenti:** impieghi termici, produzione di energia elettrica, altri impieghi.

**Energia solare.** Dati di insolazione e climatici. Tipologia dei collettori non focalizzati e focalizzati. Stagni solari. Metodi di puntamento dei collettori focalizzati. Gestione dei campi di collettori. Calcoli delle prestazioni dei collettori. Accumulo di energia termica. Produzione di energia elettrica per via termica. Criteri di gestione e regolazione. Modellazione e simulazione degli impianti. Disamina di impianti realizzati e proposti, discussione delle prestazioni e dei costi. Conversione fotovoltaica. Principi di funzionamento delle celle fotovoltaiche. Sistemi con monocristalli e a film. Tipologia dei dispositivi di maggior impiego. Prestazioni di celle singole e di sistemi estesi. Criteri di regolazione. Esame di alcuni impianti di diversa scala con discussione degli aspetti tecnici ed economici.

**Energia geotermica.** Anomalie del gradiente termico, sistemi ad acqua dominante, sistemi a vapore, rocce calde secche. Metodi di sfruttamento in cascata dell'energia geotermica. Tipologie degli impianti per la produzione di energia elettrica (a vapore diretto, con flash, binari con fluido di lavoro diverso dall'acqua). Problematiche, sistemi di controllo e diagnostica degli impianti geotermici.

**Energia eolica.** Calcolo della potenza di turbine eoliche, teoria impulsiva. Potenza minima, di progetto e massima di una turbina eolica. Diagrammi caratteristici e tipologia delle macchine. Problematiche di accoppiamento con la rete elettrica. Aspetti economici e discussione della taglia ottimale.

**Energia da biomassa.** Tipologia delle biomasse per uso energetico, quantità disponibili e caratteristiche energetiche. Metodi di impiego: produzione di combustibili liquidi e gassosi, utilizzazione tramite combustione. Combustori e motori termici per biomasse. Alimentazione, gestione e regolazione degli impianti. Aspetti relativi all'inquinamento. Presentazione e descrizione di alcuni casi esemplificativi.

**Altre fonti rinnovabili.** Discussione dei principi e breve presentazione delle realizzazioni e ricerche in corso.

### *Modalità d'esame*

Al termine del corso gli allievi sosterranno un esame orale.

*Testi consigliati*

Duffie J., Beckman W: *Solar Engineering of Thermal Processes* John Wiley & Sons, 1991.

Markvart T.: *Solar Electricity*, John Wiley & Sons, 1994.

Egglestone D., Stoddard F.: *Wind Turbine Engineering Design*, Van Nostrand Reinhold, 1987.

**TECNOLOGIE INDUSTRIALI**

**AQ0015**

**Prof. Alessandro POZZETTI**

*Programma d'esame*

**1. Analisi e progettazione dei sistemi produttivi.**

1.1. Analisi e classificazione dei sistemi produttivi.

1.2. Progettazione di impianti manifatturieri:

- sistemi di fabbricazione (job shop, celle, linee transfer, FMS);

- sistemi di montaggio manuale (montaggio a posto fisso, linee a trasferimento sincrono, linee a trasferimento asincrono, linee a trasferimento continuo, linee multi model e mixed model, assembly shop);

- sistemi di montaggio automatico (linee rigide, linee flessibili, FAS).

1.3. Progettazione di impianti di processo.

1.4. L'obsolescenza degli impianti e delle macchine e la valutazione della convenienza del rinnovo.

**2. Esame dei principali trattamenti dei materiali.**

2.1. Frantumazione e macinazione.

2.2. Separazione meccanica di solidi da liquidi ed essiccazione.

2.3. Separazione di solidi da gas.

2.4. Dosaggio.

2.5. Classificazione.

2.6. Omogeneizzazione.

2.7. Trasporto dei materiali sfusi.

**3. Analisi di tecnologie.**

3.1. Tecnologia alimentare.

3.2. Tecnologia cartaria.

3.3. Tecnologia del cemento.

3.4. Tecnologia ceramica.

3.5. Tecnologia della gomma.

3.6. Tecnologia tessile.

3.7. Tecnologia del vetro.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni consistono nella discussione di casi aziendali e nello sviluppo di elaborati di carattere applicativo.

L'esame consiste in una prova orale sugli argomenti trattati nelle lezioni e in una discussione dei casi e degli elaborati sviluppati nelle esercitazioni.

*Modalità d'esame*

*Libri consigliati*

Appunti e dispense distribuiti durante il corso.

C. M. van't Land: *Industrial drying equipment*. Marcel Dekker.

M. J. Matteson, C. Orr: *Filtration*. Marcel Dekker.

L. Finzi, M. Garetti: *Trasporto, stoccaggio e preparazione dei materiali sfusi*. CLUP.

C. Peri, B. Zanoni: *Manuale di tecnologie alimentari*. CUSL.

G. A. Smook: *Handbook for pulp & paper technologists*. Angus Wilde Publications.

W. H. Duda: *La fabbricazione del cemento*. Edizioni Tecniche.

V. Venturi: *Tecnologia ceramica: le piastrelle*. Faenza Editrice.

K. Nagdi: *Manuale della gomma*. Tecniche Nuove.

M. Bona, F. A. Isnardi, S. L. Straneo: *Manuale di tecnologia tessile*. Zanichelli / ESAC.

O. Scaglioni: *L'industria del vetro per contenitori e table ware*. Faenza Editrice.

**TECNOLOGIE METALLURGICHE****AR0140****Prof. Giovanni CAIRONI***Programma d'esame*

**1. Trasformazione dell'energia elettrica in calore** (per resistenza, per arco, per induzione).

**2. Trasmissione del calore** e metodi di misura e controllo della temperatura.

**3. Processi elettrotermici e vari tipi di forni** per: riscaldamento a resistenza (riscaldamento diretto, indiretto, elementi riscaldanti); ad arco (forni di fusione, di riduzione, ad arco radiante, sotto vuoto; forni E.S.R.; elettrodi; refrattari; perturbazioni di rete); ad induzione (principi, metodi di funzionamento, frequenza; forni elettrici a induzione a frequenza di rete, con e senza nucleo; forni a media frequenza senza nucleo); mediante plasma (principi, tipi di torce, forni, applicazioni); a fascio elettronico (principi, cannoni ad elettroni, applicazioni, fusione, evaporazione, affmazione, taglio); mediante laser; a raggi infrarossi.

**4. L'elettrotermia nei processi di fabbricazione dei metalli e in particolare dell'acciaio:** fabbricazione dell'acciaio al forno elettrico ad arco, ad induzione, ad arco sotto vuoto, sotto scoria elettroconduttrice; fabbricazione della ghisa al forno elettrico; fabbricazione delle ferroleghhe. Elaborazione dell'acciaio fuori forno. Materiali refrattari.

**5. L'elettrotermia nei trattamenti termici dei metalli:** trattamenti termici ad induzione, tempra superficiale e localizzata; riscaldamento a resistenza diretta; forni a muffola, a campana, a pozzo, continui; forni a bagno di sali fusi (a resistenza e con elettrodi immersi).

**6. Processi di saldatura, brasatura e taglio:** la saldatura ad arco con elettrodi rivestiti (l'arco elettrico; macchine elettriche per saldatura ad arco; gli elettrodi rivestiti; la preparazione dei lembi per la saldatura manuale ad arco; i difetti in saldatura ad arco); la saldatura automatica ad arco sommerso (i flussi; tecnica a filo singolo e a doppio filo). La saldatura ad arco in atmosfera gassosa (procedimento TIG; procedimenti MIG e MAG a filo continuo; drop-arc, spray-arc, corrente di transizione). La saldatura per bombardamento elettronico. La saldatura al laser. Riporti al laser. La saldatura elettrica a resistenza (saldatura per punti e per rilievi; saldatura a rulli; saldatura di testa per forgiatura; saldatura di testa a scintillo). Saldobrasatura. Brasatura. Brasatura capillare. Brasatura forte, in forno, a resistenza, a induzione. Tecniche connesse con la saldatura (l'ossitaglio, il taglio ossielettrico; il taglio all'arco plasma; solcatura con elettrodo di carbone ed aria compressa). Cicli termici in saldatura. Deformazioni e sollecitazioni dovute all'azione termica.

Altri procedimenti di saldatura.

**7. Cenni su applicazioni elettrometallurgiche nella fabbricazione di metalli non ferrosi.**

*Esercitazioni*

Nell'ambito delle esercitazioni verranno svolte visite ad impianti industriali.

*Libri consigliati*

A. Vailini: *La saldatura e i suoi problemi*, Voi. I e II Ed. del Bianco 1978.

Verranno distribuite dispense durante lo svolgimento del corso.

*I forni fusori nella fonderia di ghisa e di acciaio*, Voli. I e II, Assofond, 1986.

*Metals Handbook*, voi. VI, "Welding, Brazing and Soldering", ASM, 1983.

**TELEMATICA**

**AG0216**

**Prof. Riccardo MELEN**

*Programma d'esame*

**Reti telematiche.**

Architetture e servizi.

Modelli stratificati e funzioni di uno strato.

Esempi di reti (rete telefonica integrata, Internet, OSI).

**Protocolli e servizi telematici.**

Il modello OSI ed il modello Internet, il servizio di rete.

Lo strato di trasporto (TCP ed OSI).

Funzioni degli strati di sessione e presentazione, ASN. 1.

Architettura del livello di applicazione OSI.

Gli ASE comuni (ACSE, ROSE, RTSE, CCR).

Esempi di servizi applicativi OSI (FTAM, DS).

Esempi di servizi applicativi Internet (FTP, TELNET, SMTP, DNS).

**Gestione delle reti.**

Modello per la gestione (manager/agent/managed object).

Aree funzionali della gestione.

Gestione tramite SNMP.

Gestione tramite CMIP.

Architettura ed interfacce della TMN.

Sistemi di supporto alla gestione.

**Servizi su rete telefonica intelligente.**

Premessa: canale comune di segnalazione

Il protocollo TCAP.

Rete intelligente di prima generazione.

Servizi avanzati su rete telefonica.

Architettura della rete intelligente avanzata (CSI).

Esempi di supporto di servizi.

*Libri consigliati*

G. Le Moli: *Telematica, Architetture, Protocolli e Servizi*, ISEDI Petrini Ed., 1988.

M. Rose: *The Simple Book*, Prentice-Hall, 1991.

W. Stallings: *SNMP, SNMPV2 and CMIP: The Practical Guide to Network Management Standards*, Addison Wesley, 1993.

**TELERILEVAMENTO**  
**Prof. Giovanmaria LECHI****AX0010***Programma d'esame*

- 1) **Introduzione.** Scopi del Telerilevamento. Mappe metriche e mappe tematiche del territorio.
- 2) **Teoria.** Teoria della radiazione elettromagnetica. Principali leggi fisiche. Energia emessa e riflessa. Firma o risposta spettrale. Radiometria. Fotometria. Geometria della radiazione. Il sole. La luce visibile e la colorimetria. Temperatura di colore. Trasmissione della radiazione elettromagnetica attraverso l'atmosfera.
- 3) **Strumenti da ripresa.** Piattaforme di ripresa. Sistemi fotografici normali e multispettrali. Struttura dei materiali fotosensibili. Pellicole in bianco e nero; pellicole a colori; pellicola Inffa-Rosso Falso Colore (IRFC). Filtri; accoppiamento filtro/pellicola. Qualità dell'immagine. Le ottiche, il diaframma degli obiettivi, vignettatura. Dispositivi a scansione. Scanner all'infrarosso termico. Conversione analogico-digitale. Concetto di risoluzione geometrica, radiometrica, spettrale, temporale. Definizione del pixel. Considerazioni quantitative sulla ripresa da scanner. Telecamere. Tubi convertitori. Radiometri. Termocamere. I sistemi radar; radar a visione laterale (Side Looking Radar-SLAR); radar ad antenna sintetica (SAR).
- 4) **Satelliti per Telerilevamento.** Satelliti della serie Landsat. Caratteristiche orbitali e veicolo spaziale. Carico strumentale. Immagini RBV; immagini MSS; immagini TM; risoluzioni geometriche e bande spettrali. Numero di pixel per scena e velocità di raccolta dei dati. Riproduzione di immagini digitali. Caratteristiche delle bande. Il sistema SPOT. Meteosat. MOS-1. ERS-1.
- 5) **Strumenti da restituzione.** Sintetizzatori analogici di immagini. Sistemi digitali. Software di restituzione. Scale di rappresentazione.
- 6) **Elaborazione delle immagini.** Display delle immagini. Look-up-table (LUT). Classificazione Unsupervised. Classificazione Supervised. Classificatore a "massima verosimiglianza". Classificatore a "minima distanza". Classificatore tipo "box". Elaborazioni numeriche. Contrast stretching. Level slicing. Operazioni aritmetiche fra bande. Filtraggi. Zoom. Principali algoritmi matematici impiegati nelle elaborazioni numeriche. Principi di teoria delle informazioni.
- 7) **Principi fondamentali di interpretazione dei dati.** Applicazioni territoriali: la costruzione di mappe tematiche. Classificazione dei suoli; mappe dell'umidità superficiale. Applicazioni in Geologia strutturale. Classificazione dei tipi di copertura vegetale e "Land-use". Controllo dell'inquinamento delle acque. Impiego della termografia aerea o da satellite per lo studio della circolazione di estese superfici d'acqua. Impiego della termografia per controllo delle opere d'arte. Osservazione dei fenomeni non esclusivamente superficiali: esempio in archeologia. Misura degli stati di stress termico della vegetazione. Misura delle perdite di calore degli edifici.
- 8) **Esempi di applicazioni.** Agricoltura e foreste. Idrologia e Oceanografia. Urbanistica. Geologia e Geofisica. Mappe territoriali e loro aggiornamento. Cartografia tematica. Prospettive in Italia. APPENDICI. Bibliografia. Acronimi più frequenti nel Telerilevamento. Breve storia dello spettro elettromagnetico. Configurazione generale di uno strumento da ripresa. Radiante, steradiano, angoli solidi piccoli. Alcune conversioni utili. Altro modo di vedere la risoluzione geometrica. Dati in formato Raster e Vettoriale.

*Esercitazioni*

- 1) Valutazioni quantitative sulla radiazione di corpo nero.
- 2) Valutazioni quantitative sulla radianza del pixel.
- 3) Valutazioni quantitative sulla potenza che giunge al rivelatore di un dispositivo a scansione.

*Modalità d'esame*

L'esame consisterà in una prova orale sul programma del corso e su una delle esercitazioni scelta dal candidato.

*Libri consigliati*

*Manual of Remote Sensing.* American Society of Photogrammetry.

*Remote Sensing.* P.N. Slater. Addison -Wesley Publishing Company, 1980.

*Remote Sensing Principles and Interpretation.* Floyd F. Sabins. W.H. Freeman and Company, 1978.

*Manuale di Fotointerpretazione.* E. Amadesi. Ed. Pitagora, Bologna.

*Il Telerilevamento.* P.A. Brivio, G.M. Lechi, E. Zilioli. Carlo Delfino Editore, Sassari.

Dispense del corso.

**TELERILEVAMENTO E DIAGNOSTICA ELETTROMAGNETICA****AG0220****Prof. Giuseppe DRUFUCA***Programma d'esame*

**Richiami introduttivi.** Le onde e le antenne. L'equazione del radar.

**Le Onde.** *Sintesi del campo d'onda.* Mezzi di interesse ai sistemi di rilevamento. Onde acustiche, elettromagnetiche ed elastiche. Onde piane, raggi, raggi gaussiani, integrale di Sommerfeld. *La propagazione.* Mezzi stratificati, mezzi non uniformi e mezzi casuali. Il problema delle caustiche e delle leaking waves. Approssimazioni GTD e WKBJ. La retrodiffusione. Linearizzazione per piccole perturbazioni. La sezione radar. *La retropropagazione e l'inversione.* Tecniche deterministiche: metodi basati sull'integrale di Kirchhoff. Tecniche stocastiche: nonunicità della soluzione, spazio dei dati, spazio dei modelli, spazi nulli, informazione a priori, problemi di stima ottima, compensazione dell'assorbimento.

**Tecniche di rilevamento.** *Tomografiche.* Radar ad Apertura Sintetica. Migrazione Sismica. Eco-grafia e Tomografia Medica. *Interferometriche.* Radar ad Apertura Sintetica per Interferometria. *Radar Poi arimetriche. Radiometriche.*

**Sistemi.** *Radar di Immagini e di Avvistamento:* Fissi, aerei e su satellite MTI, Radar Doppler. *Radar Acustici.* Ecoscandagli. SODAR. SONAR. Apparati per la prospezione petrolifera in terra e mare. *Radiometri e Scanners Multispettrali.*

**Applicazioni.** (Argomenti monografici a scelta) Rilevamento delle risorse terrestri, agricole e minerarie. Controllo dell'inquinamento atmosferico ed idrico. Rilievi topografici e geodetici. Controllo del traffico. Applicazioni biomediche. Prospezione petrolifera mono e multi-componente.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste nello svolgimento di un elaborato individuale o di gruppo su un tema particolare del Corso concordato con il Docente, ed in una prova orale integrativa o sostitutiva.

*Libri consigliati*

A.C. Kak e M. Shaney: *Principles of Computerized Tomographic Imaging.*, IEEE PRESS, 1988

A. Tarantola: *Inverse Problem Theory*, Elsevier, 1987

Indicazioni bibliografiche e materiale didattico verranno distribuiti durante l'anno.

**TEORIA DEI SEGNALI****AG02I2****Proff. Luigi MUSUMECI, Claudio PRATI***Programma d'esame*

- 1. Segnali.** Elementi di un sistema di comunicazione. Classificazione dei segnali. Segnali determinati e segnali casuali. Segnali ad energia finita ed a potenza finita. Segnali continui e discreti.
- 2. Analisi di Fourier.** Serie di Fourier. Trasformata di Fourier. Proprietà della trasformata di Fourier. Funzione delta. Trasformata di Fourier dei segnali periodici. Teorema del campionamento. Ricostruzione dei segnali continui. Trasformata discreta di Fourier. Periodicità nel tempo e nella frequenza.
- 3. Sistemi lineari tempo-invarianti.** Linearità. Invarianza nel tempo. Integrale di convoluzione. Risposta nel dominio della frequenza. Condizioni per la trasmissione senza distorsione. Segnali a banda limitata. Criterio di Nyquist. Rappresentazione di un segnale a banda stretta mediante l'involuppo complesso.
- 4. Trasformata di Laplace e Z.** Definizione e proprietà. La Trasformata di Laplace Inversa per le funzioni razionali. Il significato dei poli e degli zeri. Soluzione delle equazioni lineari differenziali. La Trasformata Z e relazione con la Trasformata di Laplace. La Trasformata Z Inversa per le funzioni razionali. Soluzione delle equazioni alle differenze. Cenni sui filtri digitali.
- 5. Densità spettrale e correlazione per segnali e sequenze.** Densità spettrale di energia. Correlazione dei segnali ad energia finita. Densità spettrale di potenza. Correlazione dei segnali a potenza finita. Caratteristiche spettrali dei segnali periodici.
- 6. Processi casuali.** Elementi di Teoria della Probabilità. Processi casuali. Caratteristiche spettrali dei segnali casuali. Stazionarietà. Media, funzione di autocorrelazione e funzione di autocovarianza di un processo casuale. Medie temporali ed ergodicità. Densità spettrale di potenza. Processi gaussiani. Rumore bianco. Banda equivalente di rumore. Stima spettrale non parametrica.
- 7. Applicazioni.** Il segnale telefonico. Codifica PCM del segnale telefonico. Il segnale televisivo. Rumore termico ed elettronico. Temperatura equivalente di rumore nei sistemi lineari.
- 8. Teoria dell'informazione.** Sorgenti d'informazione. Misura della informazione. Codifica di sorgente. Codifica di Huffman. Teorema sulla codifica della sorgente.

*Modalità d'esame*

L'esame è costituito da prove scritte ed eventualmente da una prova orale integrativa.

*Libri consigliati*

- C. Prati: *Teoria dei Segnali*, CUSL  
H. Baher: *Analog & Digital Signal Processing*, Wiley.  
S. Bellini: *Elementi di Teoria dei Segnali*. CLUP.  
F. Carassa: *Comunicazioni Elettriche*, Boringhieri.  
S. Haykin: *An Introduction to Analog and Digital Communications*, Wiley.  
A. Oppenheim, A. Willsky, I. Young: *Signals and Systems*, Prentice-Hall.

**TEORIA DEI SISTEMI****AG0021****Proff. Patrizio COLANERI, Sergio RINALDI***Programma d'esame***1. Sistemi lineari.**

Definizione di sistema lineare continuo e discreto. Esempi. Movimento, traiettoria ed equilibrio. Linearizzazione di sistemi non lineari. Formula di Lagrange. Principio di sovrapposizione delle cause e degli effetti. Reversibilità. Matrice di transizione: proprietà e calcolo. Definizione di asintotica stabilità, semplice stabilità e instabilità. Implicazioni e significato pratico di stabilità. Stabilità e autovalori. Sistemi del secondo ordine. Metodi numerici per l'analisi della stabilità. Equazione di Liapunov. Raggiungibilità e test di Kalman. Forma canonica di controllo e altre forme canoniche. Legge di controllo, fissabilità degli autovalori e stabilizzabilità. Osservabili e principio di dualità. Forma canonica di osservazione e altre forme canoniche. Ricostruttore asintotico dello stato e rivelabili. Il problema del regolatore. Scomposizione canonica e minimali. Stabilità esterna. Risposta all'impulso. Convoluzione. Trasformata di Laplace (cenni) e trasformata Zeta. Funzione di trasferimento: definizione e calcolo. Significato pratico di poli, zeri e guadagno. Sistemi a sfasamento minimo e ingressi nascosti. Calcolo qualitativo delle risposte all'impulso e allo scalino. Metodo delle perturbazioni singolari per l'analisi di sistemi lineari a dinamica differenziata. Schemi a blocchi e formula di Mason. Regime periodico e risposta in frequenza. I sistemi lineari con ingressi casuali. Diagrammi di Bode. Proprietà filtranti dei sistemi lineari: amplificazione, attenuazione, banda passante e risonanza. Calcolo della banda passante. Stabilità, raggiungibilità, osservabili e banda passante nei sistemi collegati in cascata, parallelo e retroazione. Il metodo del luogo delle radici. Realizzazione minima dei sistemi a un ingresso e una uscita. Relazioni ingresso-uscita e modelli ARMA. Sistema inverso e ricostruzione degli ingressi dalle uscite. Identificazione dei modelli ARMA da misure di ingresso e uscita (caso deterministico). I sistemi come algoritmi di elaborazione dei segnali (cenni). I sistemi a segnali campionati e il ruolo del periodo di campionamento. I sistemi positivi: autovalore di Frobenius, eccitabilità e positività dell'equilibrio. I sistemi lineari nelle probabilità: catene di Markov e code (cenni). Programmi per l'analisi delle proprietà dei sistemi lineari su PC.

**2. Sistemi non lineari.**

Sistemi non lineari continui e discreti. Esempi. Equilibri multipli, isolati e non isolati. Stabilità dell'equilibrio: definizione e significato. Metodo di Liapunov. Criteri di instabilità. Stabilità in grande. Stabilità dell'equilibrio via linearizzazione. Sistemi del secondo ordine: equilibri, cicli, teoremi di Bendixon e Poincaré. Oscillatori. Biforcazioni e catastrofi. Funzionamento caotico dei sistemi non lineari. Strani attrattori e geometria frattale. Programmi per l'analisi delle proprietà dei sistemi non lineari su PC.

**3. Elementi di simulazione.**

Il concetto di similitudine. La simulazione su calcolatore. Tecniche di discretizzazione dei sistemi continui. Programmi per la simulazione dei sistemi dinamici su PC. Tecniche e linguaggi di simulazione (cenni). Prestazioni di un modello di simulazione. Ruolo dei dati e taratura dei modelli di simulazione.

*Esercitazioni*

Durante l'anno l'allievo risolverà (eventualmente presso il Centro di calcolo) dei problemi a carattere professionale che prevedono l'uso di un personal computer. Per queste esperienze, che costituiscono parte integrante del corso e dell'esame, lo studente dovrà munirsi di dischetti che verranno di volta in volta segnalati dai docenti.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova scritta, con eventuale discussione dell'elaborato, od orale, a scelta del candidato. Tutte le prove, scritte o orali, riguardano in parte gli aspetti di analisi e simulazione dei sistemi dinamici su personal computer.

*Libri consigliati*

Per approfondimenti sui vari capitoli del programma, gli studenti potranno utilmente fare riferimento ai testi qui di seguito riportati. Si consiglia tuttavia di consultare il docente per mettere a fuoco i limiti e l'utilità di tali testi ai fini di un'appropriata preparazione all'esame.

S.Rinaldi, *Teoria dei Sistemi*, CLUP, 1977.

S.Rinaldi, L.Farina, *I Sistemi Lineari Positivi: Teoria ed Applicazioni*, Città Studi Edizioni, 1995.

E.Fomasini, G.Marchesini, *Appunti di Teoria dei Sistemi*, Ed. Libreria Progetto, Padova, 1992.

S.Rinaldi, L.Farina, *I Sistemi Lineari Positivi: Teoria e Applicazioni*, Ed. CittàStudi, 1995.

Per gli esercizi:

S.Rinaldi, *Teoria dei Sistemi: esercizi*, CLUP, 1984.

L.Ghezzi et al., *I Sistemi dinamici dalla Teoria alle Applicazioni*, CittàStudi, 1992.

E.Fomasini, G.Marchesini, *Esercizi di Teoria dei Sistemi*, Ed. Libreria Progetto, Padova, 1991.

**TEORIA DEL CONTROLLO****AG0265****Prof. Arturo LOCATELLI***Programma d'esame***1. Problemi di controllo ottimo classico.**

- 1.1. La teoria di Hamilton-Jacoby.
- 1.2. Il problema lineare-quadratico su tempo finito e infinito.
- 1.3. Proprietà stabilizzanti del regolatore ottimo.
- 1.4. L'equazione algebrica di Riccati.
- 1.5. Il problema dell'inseguimento.
- 1.6. Il problema inverso.
- 1.7. Il filtro di Kalman.
- 1.8. Il principio del massimo.
- 1.9. Deduzione delle condizioni del principio del massimo.
- 1.10. Archi singolari.
- 1.11. Problemi con vincoli sulle variabili di stato e/o di controllo.
- 1.12. Controllo in tempo minimo.
- 1.13. Metodi di variazione seconda.
- 1.14. Metodi di calcolo.

**2. Stabilizzazione di un sistema dinamico.**

- 2.1. Poli e zeri di un sistema dinamico.
  - 2.2. Assegnamento dei poli.
  - 2.3. Regolazione asintotica a zero degli errori.
  - 2.4. Parametrizzazione dei regolatori stabilizzanti.
- 3. Elementi di analisi e sintesi di controllo negli spazi di Hardy.**
- 3.1. Gli spazi  $RH_2$  e  $RH_\infty$ .
  - 3.2. Controllo in  $RH_2$  e legami con il controllo lineare-quadratico-gaussiano.
  - 3.3. Controllo robusto e controllo in  $RH_\infty$ .

*Libri consigliati*

A. Locatelli: *Elementi di Controllo Ottimo*, CittàStudi

A. Locatelli: *Raccolta di Problemi di Controllo Ottimo*, Pitagora

P. Colaneri: *Note sull'equazione algebrica di Riccati*, Pitagora

P. Colaneri, A. Locatelli: *Elementi di controllo in  $RH_2$  e in  $RH_\infty$* , ed. Pitagora.

**TEORIA DELLE RETI ELETTRICHE****AG0019****Prof. Mauro SANTOMAURO***Programma d'esame*

- 1. Postulati fondamentali delle reti elettriche e loro significato fisico.** Modelli matematici. Elementi costitutivi delle reti elettriche. Bipoli, n-poli, n-porta. Analisi e sintesi.
- 2. Proprietà topologiche delle reti elettriche.** Grafo, albero, coalbero, matrice di incidenza A, matrice delle maglie fondamentali B e degli insiemi di taglio fondamentali Q. Leggi di Kirchhoff per le tensioni e per le correnti in forma implicita ed esplicita.
- 3. Caratterizzazione elettrica di elementi lineari resistivi.** Bipoli e doppi bipoli. Generatori comandati. Formulazioni serie parallelo ed ibride. Parametri di trasmissione. Proprietà generali: passività, reciprocità, simmetria. Collegamenti tra doppi bipoli.
- 4. Analisi di reti lineari resistive.** Metodo della Tabella Sparsa (STA). Analisi per maglie e per insiemi di taglio. Dualità. Analisi Nodale (NA) e Analisi Nodale Modificata (MNA) Esistenza ed unicità della soluzione. Metodi di risoluzione di sistemi lineari algebrici: diretti e iterativi. Sparsità.
- 5. Caratterizzazione elettrica di elementi non-lineari resistivi.** Bipoli passivi: proprietà non-amplificazione. Bipoli monotoni e loro proprietà. Caratteristiche proprie e di trasferimento di reti comprendenti solo bipoli monotoni. Linearizzazione. Modelli statici non-lineari e linearizzati del diodo, dei transistor BJT e MOSFET e dell'amplificatore operazionale.
- 6. Analisi di reti non-lineari resistive.** STA, NA, MNA. Esistenza e unicità della soluzione. Risoluzione di sistemi non-lineari algebrici. Equazioni di punto fisso. Metodo Newton-Raphson e sua interpretazione circuitale. Convergenza. Circuito linearizzato e circuito di elementi linearizzati. Analisi per piccoli segnali.
- 7. Analisi di reti dinamiche nel dominio del tempo.** Modello di stato e sue proprietà. Degenerazioni. Formulazione delle equazioni di stato. Stati di equilibrio. Equazioni di stato per reti lineari tempo-invarianti. Soluzione dell'equazione di stato. Metodi numerici per la risoluzione delle equazioni differenziali e loro interpretazione circuitale. Circuiti con costanti di tempo molto diverse tra loro. Reti comprendenti bipoli lineari e tratti.
- 8. Analisi di reti lineari dinamiche in regime sinusoidale.** Metodo dei fasori. STA, NA, MNA. Esistenza ed unicità della soluzione. Risposta in frequenza. Reti in regime periodico non sinusoidale.
- 9. Analisi di reti dinamiche lineari con l'uso della trasformata di Laplace.** Metodo simbolico per l'analisi delle reti. Risposta con stato zero e con ingresso zero. Funzione di trasferimento  $H(s)$ . Soluzione dell'equazione di stato con la T.d.L. Legame tra  $H(s)$  e le matrici di stato A,B,C,D dell'equazione di stato. Costruzione grafica del modulo e della fase di  $H(j\omega)$ . Parametri di diffusione.
- 10. La simulazione circuitale.** Caratteristiche generali di un programma per la simulazione circuitale. Il programma SPICE2: descrizione, prestazioni, ed utilizzo. Cenni ad altri tipi di simulazione.
- 11. Analisi dei circuiti digitali.** Caratterizzazione mediante le equazioni di stato. Analisi nel dominio della variabile z. Rappresentazioni matriciali e mediante grafi di flusso di segnale. Funzioni di trasferimento:  $H(z)$ . Stabilità. Forme canoniche. Risposta in frequenza.

**12. Sintesi di circuiti analogici e digitali.** Sintesi di circuiti analogici mediante elementi passivi. La sintesi RC attiva. Progetto di un filtro passa-basso mediante l'approssimazione di Butterworth. Relazione tra circuiti analogici e digitali. Cenni sulla sintesi di filtri digitali.

#### *Esercitazioni*

Durante l'anno saranno svolte esercitazioni numeriche in aula e con l'ausilio del calcolatore nelle aule informatizzate.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta e di un colloquio. La prova scritta può essere sostituita da un progetto relativo alla simulazione circuitale. In questo caso parte del colloquio sarà dedicato alla discussione del progetto.

#### *Libri consigliati*

Per le sezioni da 1 a 9 si segue il testo:

L. Chua, C. Desoer, E. Kuh: *Linear and Nonlinear Circuits*, Ed. Me Graw-Hill (in italiano: *Circuiti Lineari e non lineari*, Ed. Jackson).

Per le sezioni 11 e 12 è

A.V. Oppenheim, A. Wills, I. Yong: *Signals and Systems*, Ed. Prentice-hall.

## **TEORIA DELLO SVILUPPO DEI PROCESSI CHIMICI (1/2 annualità)**

**AFO1 16**

**Prof. Mario DENTE**

#### *Programma d'esame*

- **Problematica generale:** la natura dello sviluppo di processo, le sue varie fasi a seconda dello stato di conoscenza esistente, organizzazione e coordinamento dello sviluppo, le analisi degli aspetti e dei momenti critici, gli scopi e le funzioni e dei miglioramenti sui processi consolidati e maturi.
  - **Attività sperimentali** (e loro inserimento nello sviluppo di processo): ricerca di base, ricerca preliminare ed inventiva, ricerca sistematica e la metodologia per effettuarla, impianti pilota totali o parziali e scale produttive più significative, criteri di scale-up.
  - **Attività interpretative e di modellazione:** ruolo dei modelli iconici, dei modelli fenomenologici, dei modelli matematici, loro criteri di impostazione.
  - **Miglioramento di processi in atto:** metodologia per la individuazione delle variabili significative, problemi e metodi di ottimizzazione di progetto e conduzione di impianti.
- Parte del corso si svolgerà attraverso la presentazione di esempi reali di casi.  
Adeguate dispense sugli argomenti del corso verranno in seguito preparate.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova orale sulla materia del corso

*Libri consigliati*

Si consiglia la lettura del testo:

D.M. Himmelblau, K.B. Bischoff: *"Process analysis and simulation"*, J. Wiley & Sons, 1968.

**TEORIA E PROGETTO DEI PONTI****000888****Prof. Francesco MARTINEZ Y CABRERÀ***Programma d'esame*

**1. Generalità.** - Il ponte in generale. L'inserimento della struttura da ponte negli attuali tracciati stradali: i viadotti, i manufatti di attraversamento, i cavalcavia di svincolo, le sopraelevate urbane ed extra-urbane. Tipologia di ponti in c.a., c.a.p., acciaio-calcestruzzo, acciaio: ponti a sezione aperta, ponti a sezione chiusa (cassone), ponti a travata, ponti ad arco, tipi speciali. Tecniche costruttive. I carichi regolamentari stradali e ferroviari.

**2. L'impalcato da ponte.** - Tipologia degli impalcati nei ponti in c.a., c.a.p., in acciaio-calcestruzzo, metallici. Superfici di influenza per piastre a sezione costante (in varie condizioni di vincolo) e per piastre continue a spessore variabile. Applicazione al calcolo della soletta di impalcato. Utilizzazione di grafici e tabelle: Bittner, Pucher, Homberg. Il calcolo degli impalcati metallici a piastra ortotropa. Il calcolo del marciapiede. Effetto ripartitore del cordolo. Funzionamento trasversale del campo di impalcato in ponti a sezione aperta ed a sezione chiusa.

**3. I ponti a travata.** - La ripartizione trasversale dei carichi: l'impalcato da ponte nel suo complesso come struttura di superficie piana ortotropa. Equazione della piastra ortotropa equivalente ad un graticcio. Il metodo del Massonnet per impalcato da ponte appoggiato. Estensione del metodo per impalcati continui. Impalcati con sezione trasversalmente rigida. Equazione generale della torsione non uniforme: soluzioni. Casi limite: soluzione torsionale per impalcati a sezione aperta (Courbon). Soluzione torsionale per impalcati con sezione a cassone mono e pluriconnesso. Metodo di Unger. Impalcati con sezione di tipo speciale: a doppio e triplo cassone collegati con soletta. Metodo di Bieger. Lo schema statico: trave appoggiata, trave Gerber, trave continua a sezione variabile e non. Problemi di ottimizzazione delle luci. Problemi connessi al calcolo delle massime sollecitazioni. Le distorsioni (precompressione, ritiro, viscosità, variazioni di temperatura). La sottostruttura: gli apparecchi di appoggio, in neoprene, in teflon, metallici. Tipi, calcolo e regolamentazione. Le selle Gerber. I giunti: tipi e calcolo. Le pile: le pile ordinarie e le pile alte: verifiche fondamentali. Le spalle. I ponti a travata di tipo speciale: ponti a sbalzo (Diwidag-Finsterwalder); ponti stradati. La prefabbricazione nei ponti a travata: generalità, prefabbricazione in officina e in cantiere. Problemi tecnici. Problemi di trasporto e di varo.

**4. I ponti ad arco.** - Generalità sulla statica dei ponti ad arco. I sistemi combinati. I ponti ad arco classico. Problemi statici: calcolo delle sollecitazioni per **forze e distorsioni** (ritiro, viscosità, variazioni termiche, distorsioni impresse). Problemi connessi alla caduta di spinta. I domini delle sollecitazioni in campo elastico. Ripartizione trasversale dei carichi. Azioni del vento e di frenatura. I ponti a travata irrigidente (Maillart). La teoria del I ordine. Ripartizione trasversale dei carichi. La precompressione della travata irrigidente. Azioni del vento e di frenatura.

**5. Strutture di copertura e di contenimento.** Le volte cilindriche: metodi di calcolo (Lundgren, Ruediger Urban, A.S.C.E.), influenza sul regime statico del tipo di direttrice, travi di bordo e timpani, precompressione - volte continue trasversalmente e longitudinalmente. Disposizioni costruttive. Altri tipi di volte di traslazione: paraboloide iperbolico, dittico e di rivoluzione, conoidi. Metodo di calcolo, travi di bordo e timpani. Disposizioni costruttive. Strutture assialsimmetriche: teo-

ria membranale e flessionale, impiego dei coefficienti elastici, travi di bordo, precompressione. Disposizioni costruttive.

**6/Strutture contenenti elementi in curva od elicoidali.** - Le travi curve. Le travi elicoidali.

**7. Tensostrutture.** - Generalità. Metodi di calcolo.

**8. Strutture per gallerie.** - Strutture ad elementi prefabbricati. Tipi e calcolo. Strutture contenenti paratie. Tipi e calcolo.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni, precedute da lezioni specifiche introduttive, consisteranno nello sviluppo di singoli temi su strutture da ponte e su strutture speciali. Agli allievi che svolgeranno una tesi sarà assegnato il progetto di un tipo strutturale speciale; l'allievo dovrà eseguire una ricerca bibliografica e presentare una dettagliata relazione di calcolo con i relativi disegni esecutivi. La tesi può essere sviluppata anche da più allievi (massimo n. 5) ai quali possono essere affidati compiti differenziati nell'ambito del medesimo progetto.

#### *Modalità d'esame*

L'esame, orale ed individuale, verte sugli argomenti del presente programma (lezioni ed esercitazioni) o sulla discussione del progetto per quegli allievi che abbiano scelto il corso di Ponti e Grandi Strutture per lo svolgimento della tesi di laurea.

#### *Libri consigliati*

Belluzzi: *Scienza delle Costruzioni*, voi. I e II, ed. Zanichelli, Bologna.

Franciosi: *Lezioni di ponti*, ed. Liguori, Napoli.

Guyon, Massonnet, Baresi *Le calcul des grillages de poutres et dalles orthotropes*, ed. Dunod, Parigi, (tabelle per i graticci da ponte).

Raithel: *Costruzioni di ponti*, ed. Liguori, Napoli.

Ruediger, Urbani *Circular cylindrical shells*. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1955 (tabelle per voltine circolari).

*Design of cylindrical concrete shell roofs* - ASCE.

## **TEORIA E PROGETTO DELLE COSTRUZIONI IN ACCIAIO**

**000889****Prof. Giulio BALLIO**

#### *Programma d'esame*

##### **a) Sistemi strutturali.**

1 Edifici multipiano

2 Edifici monopiano

3 Modelli di calcolo

##### **b) Sicurezza delle strutture in acciaio.**

1 Affidabilità strutturale

2 Metodo semiprobabilistico

##### **c) Materiale e modalità d'unione.**

1 Forme e tipi delle sezioni

2 Imperfezioni geometriche e strutturali

3 Gli acciai da carpenteria

4 Unioni saldate

- 5 Unioni bullonate
- 6 Effetti delle caratteristiche di sollecitazione
- 7 Verifiche di resistenza

**d) Collegamenti.**

- 1 Articolazioni
- 2 Giunti tesi
- 3 Giunti compressi
- 4 Giunti inflessi
- 5 Giunti trave-colonna
- 6 Giunti di composizione delle sezioni

**e) Resistenza degli elementi strutturali.**

- 1 Stato limite di utilizzazione
- 2 Stato limite elastico
- 3 Stato limite plastico

**f) Stabilità degli elementi strutturali.**

- 1 Aste compresse
- 2 Aste inflesse
- 3 Aste pressoinflesse
- 4 Le aste nella struttura

**5 Effetti locali**

- 6 Lastre piane irrigidite

**g) Calcolo sismico delle strutture in acciaio.**

- 1 Dimensionamento delle membrature
- 2 Dimensionamento dei collegamenti

*Esercitazioni*

Durante le esercitazioni saranno svolte applicazioni numeriche e progettuali relative al programma d'esame.

*Libri consigliati*

Ballio, Mazzolani: *Strutture in acciaio* - ed. Hoepli.

Ballio, Mazzolani: *Theory and Design of Steel Structures* - ed. Chapman and Hall

Finzi, Nova: *Elementi strutturali* - ed. CISIA

**TEORIA E PROGETTO DELLE COSTRUZIONI IN C.A. E IN C.A. PRECOMPRESSO 000882**  
**Prof. Franco MOLA**

*Programma d'esame*

**1. Concetti introduttivi.** Carattere ed aspetti basilari delle costruzioni in cemento armato. L'evoluzione delle costruzioni. Il cemento armato pre-compresso. I fondamenti meccanici del comportamento delle sezioni e degli elementi in cemento armato. Gli aspetti connessi alla sicurezza: I metodi di analisi deterministici e probabilistici, stati limite.

**2. Le leggi costitutive del calcestruzzo e dell'acciaio.** Calcestruzzo: comportamento monoassiale, comportamento pluriassiale. Effetto del confinamento. Le deformazioni differite di viscosità e ritiro. Acciaio: comportamento sotto tensioni monotone, ripetute, cicliche. Gli acciai ordinari. Gli ac-

ciai ad alta resistenza. Caratterizzazione delle leggi costitutive. Forma e diametro delle barre. Forma, dimensione e assemblaggi degli elementi di precompressione.

**3. Resistenza delle sezioni in presenza di flessione e forza normale.** Ipotesi di base. Deformazioni ultime. Distribuzione delle tensioni nella zona compressa di calcestruzzo. Raccomandazioni normative. Verifica e progetto delle sezioni. I diagrammi di interazione flessione-forza normale per flessione monoassiale. Cenno alla flessione biassiale. Il progetto della sezione per assegnata duttilità. La superficie meccanica momento-curvatura-forza normale. Elementi snelli, effetti della non linearità geometrica. Metodi di analisi degli elementi snelli: generale, delle curvature di equilibrio, delle forze laterali equivalenti. Effetto delle deformazione differite, delle deformazioni imposte e dei cedimenti dei vincoli. Applicazione a semplici schemi iperstatici. Disposizioni normative, snellezze limite.

**4. Resistenza degli elementi in presenza di taglio e torsione.** Meccanismi resistenti. Il modello teorico di Morsch e le sue modificazioni. I metodi per la determinazione della resistenza ultima e le disposizioni normative Interazione taglio-flessione. Effetti locali e loro valutazione. Le sollecitazioni di punzonamento. Modelli teorici di equilibrio. Interazione fra punzonamento e flessione negli appoggi di estremità delle travi continue.. I meccanismi resistenti a torsione e loro modelli teorici: elastico, elasto plastico, della trave cava equivalente. Il traliccio di Rausch. La torsione non uniforme e sua analisi per gli elementi prefabbricati precompressi.

**5. Aderenza ed ancoraggio delle barre.** Natura dell'aderenza e sue caratteristiche. Stati di sforzo locali nelle zone di ancoraggio. I meccanismi ultimi di trasferimento delle forze fra acciaio e calcestruzzo. Azioni ripetute e danneggiamento. Lunghezze di ancoraggio. Disposizioni normative.

**6. Il comportamento delle strutture in esercizio.** Azioni permanenti, effetti della viscosità e teoremi fondamentali. Le strutture non omogenee e le funzioni di rilassamento ridotte. Variazione di tensione nelle sezioni precomprese. Effetti della iperstaticità nelle travi precomprese. Modelli normativi e relative raccomandazioni.

**7. Fessurazione e deformazione delle sezioni e delle strutture in cemento armato.** La necessità del controllo della fessurazione. Il problema del degrado chimico del calcestruzzo. Cause della fessurazione. Meccanismo della fessurazione per flessione. Il contributo irrigidente del calcestruzzo. Le deformazioni a lungo termine. I diagrammi momenti curvature per sezioni in cemento armato e cemento armato precompresso, modelli generali e formule approssimate. Calcolo degli spostamenti. Raccomandazioni normative e limiti dimensionali.

**8. Analisi delle strutture in cemento armato.** L'analisi elastica in esercizio e le ridistribuzioni delle sollecitazioni prodotte dalla fessurazione. L'analisi elastica con ridistribuzione allo stato limite ultimo. Requisiti di duttilità. I diagrammi momento-rotazione. Metodi di analisi generale. Raccomandazioni normative. Cenno all'analisi di elementi inflessi bidimensionali ed al dimensionamento delle armature.

**9. Le disposizioni costruttive nelle strutture in c.a. e c.a.p.** Il modello puntone tirante, regioni a trave e regioni diffuse. Dettagli di armatura nelle travi snelle e nelle colonne. Effetto di deviazione delle barre e dei cavi. Le unioni travi-colonne. Le unioni tra elementi eterogeni. Unioni mediante inserti metallici. Resistenza di connettori metallici solidali a parti di calcestruzzo. Dettagli d'armatura in elementi tozzi: le travi parete, le mensole tozze, le selle di appoggio, i plinti di fondazione.

**10. Il progetto e l'analisi delle costruzioni in cemento armato e cemento armato precompresso.** Gli organismi strutturali e le tecniche di analisi. Effetto delle azioni laterali e gli organismi di controvento. Strutture per edifici e strutture speciali: gli edifici alti, le opere infrastrutturali per la viabilità, le opere in sotterraneo. I moderni sistemi costruttivi e loro interazione con il comportamento in transitorio e definitivo delle strutture. Le grandi opere in cemento armato precompresso,

caratteri distintivi e moderni metodi di modellazione ed analisi per la misura della loro sicurezza in esercizio ed allo stato limite ultimo.

#### *Esercitazioni*

Consisteranno nello sviluppo di argomenti teorici svolti a lezione e nelle relative applicazioni numeriche. Saranno condotte verifiche e progetto di sezioni ed elementi strutturali sotto la guida del Docente.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste nella interrogazione su argomenti teorici svolti a lezione e sulla impostazione e risoluzione di casi teorico-pratici emergenti dalle interrogazioni ed atti alla valutazione delle capacità decisionali e della correttezza nella applicazione di tecniche di progetto ed analisi conseguite dall'Allievo.

#### *Testi consigliati:*

Park R., Paulay T.: *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, New York, 1975.

Nilson A., Winter G.: *Design of Concrete Structures*, McGraw Hill, New York, 1991.

Me Gregor J.: *Reinforced Concrete, Mechanics and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1992.

Migliacci, Mola: *Progetto agli stati limite di strutture in c.a.*, Masson, 1985.

Leonhardt F., *C.A. & C.A.P.*, Edizioni tecniche, Milano, 1978.

Walter R., Ed. *Traité de Genie Civil*, Voli. 7-8 : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1993.

Appunti distribuiti dal Docente durante lo svolgimento del Corso.

## **TEORIA E TECNICA DELLA CIRCOLAZIONE**

**BN0007****Prof. Livio FLORIO**

#### *Programma d'esame*

1. Il traffico stradale. I veicoli. Cenni di meccanica della locomozione. Indagini cinematiche. I diversi tipi di velocità. Diagrammi di distribuzione cinematica.

Modi di trasporto a controllo individuale e a controllo centralizzato.

Parametri dei flussi veicolari: velocità, densità, occupazione, intervallo e distanziamento interveicolare.

Fluttuazioni del traffico: fluttuazioni mensili, settimanali, giornaliere, orarie. Significato del Fattore dell'Ora di Punta e del Traffico Giornaliero Medio. Rilevamenti di traffico a mezzo aerofotorilevamenti o misure dirette. Fondamenti di statistica applicata alla circolazione.

2. La tipologia delle strade urbane secondo la classificazione CNR. Relazioni flusso-velocità-densità. Capacità stradali per flussi ininterrotti. Variazioni della capacità per diversi parametri costruttivi e operativi. Curve di deflusso e livelli di servizio. Costruzione della curva di deflusso con il metodo del veicolo in moto.

Concetto di onda cinematica e di onda shock.

3. Modello generale del veicolo accodato: distanziamento e capacità nei cinque casi fondamentali.

4. Il traffico in ambiente urbano: definizioni fondamentali e classificazione. Semaforizzazione a ciclo fisso secondo i metodi di Homburger e Kell, Webster e Pignataro. Semaforizzazioni a ciclo variabile mediante attuatori.

5. Criteri generali di classificazione delle intersezioni stradali secondo la normativa CNR. Capacità e livelli di servizio delle intersezioni stradali a raso secondo il metodo dell'Highway Capacity Manual (HCM). Elementi di calcolo della capacità delle intersezioni non semaforizzate.
6. La congestione del traffico e il suo costo. Cenni di economia del traffico.
7. Determinazione del fabbisogno di stazionamento e morfologia della sosta. Impianti per il parcheggio: tipologia dei più comuni impianti ed elementi per il progetto.
8. Fattibilità, progetto e campi di impiego delle rotatorie ad immissione regolate.
- 9.1 piani di traffico urbano (PUT).
10. Principi di circolazione in ferrovia. I metodi di calcolo di capacità delle linee della Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) e della Deutsche Bundesbahn (DB).
11. Calcolo della capacità e progetto di massima dei più comuni sistemi di trasporto pubblico urbano.
12. Le piste ciclabili. Principi di dimensionamento e livelli di servizio dei corridoi per i pedoni.
13. Previsioni di traffico futuro. Cenni a metodi e applicazioni della Pianificazione dei Trasporti in campo urbano.

#### *Esercitazioni*

Consistono in applicazioni dei principi sviluppati nelle lezioni con particolare riguardo per i metodi di semaforizzazione e per la determinazione della capacità delle infrastrutture e dei sistemi, anche con l'ausilio dell'elaboratore.

#### *Modalità d'esame*

La prova di esame consiste in una prova orale sul programma del Corso e delle Esercitazioni. Agli allievi è data possibilità di predisporre una tesina o una dissertazione su un argomento a propria scelta della materia.

#### *Libri consigliati*

La materia è sviluppata nei testi:

- Semafori, Intersezioni stradali, Parcheggi, Tecnica del Traffico 2* di G. Da Rios, editi dalla CLUP.
- Transportation Engineering An Introduction* di C.J. Khisty edito da Prentice Hall (1990).
- Traffice Analysis* di M.A.P. Taylor e W. Young - Hargreen Publishing Company (1988).
- Transportation Engineering and Planning* di C.S. Papacostas e P.D. Prevedouros edito da Prentice Hall (1993).
- Roads and Traffic in Urban Areas* dell'Institution of Highways and Transportation inglese (1987).
- Ingenierie du Trafic Routier* di S. Cohen edito da Presses de fecole nationale des Ponts et Chaussees (Parigi 1990).
- Highway Capacity Manual* edito da Transportation Research Board (1985).
- Dispense dalle lezioni disponibili presso il Dipartimento Sistemi di Trasporto e Movimentazione.

TERMINALI E IMPIANTI DI TRASPORTO  
Prof. Pietro MENGOLI

BN0008

#### *Programma d'esame*

A) GENERALITÀ' - Il trasporto nel contesto socio-economico. Distribuzione del traffico nei vari sistemi di trasporto.

**B) TRAZIONE TERRESTRE** - Richiami di meccanica della locomozione e di trazione in generale.

**1 - Ferrovie** - Unità tecnica delle strade ferrate: organi di aggancio, sagoma limite, franchi in curva. La sovrastruttura ferroviaria, il binario la manutenzione delle vie. Impianti fissi di stazione per viaggiatori e merci. Sistemi ed impianti di trazione. La trazione. La trazione elettrica: i diversi sistemi di alimentazione e regolazione; caratteristiche dei motori di trazione; linea aerea ed altri impianti fissi. La trazione endotermica ferroviaria: tipi di motori e di trasmissioni. Principali sistemi di circolazione ferroviaria: controlli e sicurezza. Ferrovie speciali o altri sistemi guidati.

**2 - Trasporti su strada** - Automobilismo industriale: l'autobus e l'autocarro; tipi di motori e trasmissioni; ingombri dimensioni e pesi; norme di sicurezza e di manutenzione; impianti di stazione per viaggiatori e merci.

**3 - Trasporti combinati strada-rotaia:** tipologia, caratteristiche dei veicoli, i containers, impianti di stazione.

**4 - Trasporti su fune:** classificazione, caratteristiche costruttive degli impianti. Impostazione del calcolo dei vari tipi di linea.

**5 - Metropolitane** - limite di capacità e di convenienza economica; sistemi in galleria e all'aperto; tipi di gallerie; tipi ed esigenze delle stazioni; impianti di alimentazione; sistemi di circolazione, di sicurezza.

**C) TRAZIONE SU ACQUA.**

**1 - In mare:** caratteristiche e moti. I veicoli e i loro motori o propulsori, caratteristiche meccaniche e prestazioni. I porti, bacini di carenaggio.

**2 - Su vie d'acqua interne:** I porti, le vie d'acqua naturali, i canali. Le conche e altri sistemi per il superamento dei dislivelli. I mezzi e sistemi di locomozione.

**3 - Impianti per l'interscambio.**

**D) TRAZIONE AEREA** - La via e i veicoli. Caratteristiche meccaniche e prestazioni. Organizzazione per il movimento dei passeggeri e delle merci.

#### *Esercitazioni*

Visite a impianti e mezzi di trazione.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta in una prova orale sulla materia trattata nelle lezioni ed esercitazioni.

#### *Libri consigliati*

Oltre i libri consigliati per Tecnica ed Economia dei Trasporti sono disponibili le dispense del Corso presso la Sezione di Vie e Trasporti.

## **TERMODINAMICA DELL'INGEGNERIA CHIMICA**

**AE0104**

**Prof. Sergio CARRA'**

#### *Programma d'esame*

**1. Sistemi termodinamici.** Energia interna. Lavoro associato ad una trasformazione. Primo principio della termodinamica. Bilanci energetici. Secondo principio della termodinamica. Entropia. Caratterizzazione delle condizioni di equilibrio. Aumento di entropia nei processi irreversibili. Stabilità dell'equilibrio termodinamico. Equazioni di Eulero e di Gibbs-Duhem. Terzo principio della termodinamica.

2. **Entalpia.** Funzioni di energia libera. Equazioni di Gibbs-Helmholtz. Relazioni di Maxwell. Capacità termiche. Equazioni di stato. Equilibrio in sistemi polifasici. Sistemi chimici reagenti. Grado di avanzamento di una reazione. Calore di reazione. Dipendenza del calore di reazione dalla temperatura. Misure delle variazioni di energia interna e di entalpia. Calori standard. Calori di formazione e combustione.
3. **Potenziale chimico di un componente una miscela di gas perfetti.** Equilibrio chimico in una miscela di gas perfetti. Influenza della temperatura sulla costante di equilibrio.
4. **Termodinamica statistica.** Insiemi statistici. Legge di distribuzione canonica. Proprietà termodinamiche dei gas perfetti e proprietà termodinamiche dei solidi. Equazioni di Einstein e Debye.
5. **Comportamento di stato di un fluido reale:** superfici di stato. Forze intermolecolari. Equazioni di Van der Waals. Equazione di stato del viriale. Legge degli stati corrispondenti. Fattori di compressibilità ed acentrico. Comportamento di stato di miscele gassose. Esperienza di Joule Thomson. Cenni sulle teorie dello stato liquido.
6. **Grandezze parziali molari.** Miscele ideali. Miscele non ideali (equazione di Hildebrand-Scatchard). Miscibilità parziale.
7. **Regola delle fasi.** Tensione di vapore e calore di evaporazione. Equazione di Clausius-Clapeyron. Fugacità. Fugacità di un gas puro. Equilibrio fra le fasi. Fugacità di un liquido. Coefficienti di attività e loro valutazione dall'eccesso di energia libera. Equilibrio liquido-vapore in sistemi a più componenti. Sistemi azeotropici. Solubilità dei gas nei liquidi. Diagramma per la rappresentazione dell'equilibrio liquido-vapore. Coefficienti di attività in fase liquida. Equazioni di Van Laar, Murgules, Hildebrand, Wilson, NRTL. Equilibrio di ripartizione fra due liquidi. Solubilità dei solidi nei liquidi. Diagrammi di stato dei sistemi binari e ternari e loro uso.
8. **Equilibrio chimico in miscele di gas reali.** Equilibri chimici in sistemi coinvolgenti solidi. Equilibri chimici in soluzione.
9. **Trasformazione del calore in lavoro.** Efficienze dei cicli ideali. Exergia.
10. **Transizioni di fase e fenomeni critici.** Parametri d'ordine e transizione di fase. Esponenti critici. Teoria classica della regione critica. Leggi di Scala. Modello di Ising.
11. **Sistemi contenenti ioni.** Teoria di Debye-Huckel. Equilibri in soluzioni elettrolitiche. Plasmi gassosi.
12. **Interfasi e superfici:** isoterme di adsorbimento.
13. **Processi irreversibili.** Approccio fenomenologico allo studio dei sistemi soggetti a leggi lineari. Approccio stocastico. Bilancio cinetico: Master equations.
14. **Cenni sulla cinetica delle reazioni chimiche.** Definizione della velocità di reazione. Bilancio nei sistemi reagenti. Condizioni di stazionarietà. Misure della velocità di reazione. Espressioni della velocità di reazione. Approssimazione dell'intermedio stazionario. Il concetto di stadio lento. Introduzione alla catalisi.

#### *Esercitazioni*

Calcoli chimico-fisici.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta comprendente lo sviluppo di calcoli chimico-fisici e di una prova orale.

#### *Libri consigliati*

S. Carrà *Termodinamica*, Bollati, Torino, 1990.

S. Carrà, M. Morbidelli: *Chimica Fisica Applicata*, Hoepli, Milano, 1982.

**TERMODINAMICA DELL'INGEGNERI CHIMICA****000853**

(orientamento energetico-idrocarburi)

**Prof. Sergio CARRA'***Programma d'esame***Sistemi e principi della termodinamica**

Trasformazioni termodinamiche e lavoro ad esse associato. Primo principio della termodinamica. Energia interna ed entalpia. Bilanci di materia e di energia. Secondo principio della termodinamica. Equilibrio termodinamico. Entropia. Processi irreversibili. Stabilità dell'equilibrio termodinamico. Terzo principio della termodinamica e calcolo del valore assoluto dell'entropia. Funzioni energia libera. Potenziale chimico. Equazioni di Gibbs-Helmholtz. Relazioni di Maxwell

**Termodinamica dell'equilibrio fisico.**

Punto triplo e punto critico. Diagrammi di stato. Superficie di stato. Forze intermolecolari. Equazione di van der Waals. Equazioni di stato del viriale e cubiche. Legge degli stati corrispondenti. Fattori di compressibilità e acentrico. Transizioni di fase. Regola delle fasi. Tensione di vapore e calore di evaporazione. Equazione di Clausius-Clapeyron. Equilibrio tra le fasi.

**Processi e cicli termodinamici.**

Processi termodinamici di trasformazione di calore in lavoro. Processi quasi statici. Sorgenti di calore e di lavoro. Macchine termodinamiche. Cicli termodinamici a gas e con cambiamento di fase. Cicli frigoriferi e pompe di calore. Efficienza della trasformazione di calore in lavoro. Exergia e sua applicazione al risparmio energetico. Esperienza di Joule-Thomson. Liquefazione di gas incoercibili.

**Termodinamica delle miscele.**

Grandezze parziali molari. Comportamento di stato di miscele gassose. Teorie dello stato liquido. Miscibilità parziale. Coefficienti di attività e loro rappresentazione. Equazioni di Van Laar, Margules, Hildebrand, Wilson, NRTL, UNIFAC. Equilibrio tra le fasi. Sistemi azeotropici. Solubilità dei gas nei liquidi. Solubilità dei solidi nei liquidi. Diagrammi di stato per sistemi binari e ternari. Sistemi contenenti ioni. Teoria di Debye-Huckel.

**Termodinamica ed energetica chimica.**

Reazioni chimiche. Energie di legame. Calore di reazione e di combustione. Bilanci di materia e di energia in sistemi reagenti. Equilibrio chimico in una miscela di gas perfetti. Influenza della temperatura sulla costante di equilibrio. Equilibrio chimico in miscele di fluidi reali ed in sistemi coinvolgenti solidi. Equilibrio chimico in sistemi multifase. Equilibrio chimico in soluzioni elettrolitiche.

**Termodinamica statistica.**

Insiemi statistici. Legge di distribuzione canonica. Proprietà termodinamiche dei gas perfetti e dei solidi. Comportamento dei fluidi reali: valutazione delle proprietà chimico-fisiche (comportamento di stato, capacità termiche, coefficienti di viscosità, conducibilità termica, coefficienti di diffusione) dalle proprietà molecolari.

*Esercitazioni*

Calcoli chimico-fisici.

*Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta comprendente lo sviluppo di calcoli chimico-fisici e di una prova orale.

*Libri consigliati*

- S. Carrà, *Termodinamica dell'ingegneria chimica*, Bollati (1990)  
S.I. Sandler, *Chemical and engineering thermodynamics*, Wiley (1989)  
A. Bejan, *Advanced Engineering Thermodynamics*, Wiley (1988)  
H.B. Calieri, *Thermodynamics*, Wiley (1960)

**TERMOTECNICA**

**AK0009**

**Prof. Pierangelo ANDREINI**

*Programma d'esame*

**A) PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA.**

- 1) *produzione da combustibili tradizionali*: combustibili, combustione, impianti di produzione del calore, controllo della combustione, apparecchiature di misura e controllo;
- 2) *produzione da combustibili nucleari* (cenni): combustibili, moderatori, tecnologia dei materiali, controllo del reattore, tipi di centrali nucleari;
- 3) *produzione da fonti rinnovabili*: da energia solare, da fonti geotermiche, da rifiuti;
- 4) *produzione combinata di energia termica ed elettrica*.

**B) TRASFERIMENTO DI ENERGIA TERMICA.**

- 1) *richiami di fenomeni di trasporto*: equazioni di bilancio e di trasporto, conduzione, convezione ed irraggiamento;
- 2) *tecnica della trasmissione del calore*: trasmissione con cambiamento di stato, irraggiamento nei corpi non grigi e con mezzi assorbenti o emittenti;
- 3) *fluidi vettori dell'energia termica*: valutazione delle proprietà fisiche dei fluidi vettori e campi di applicazione, moto dei fluidi bifase in condotti adiabatici e diabatici;
- 4) *sistemi di trasferimento del calore*: scambiatori di calore, metodi per la promozione dello scambio termico, per il dimensionamento ed il collaudo, tubi di calore.

**C) ACCUMULO DI ENERGIA TERMICA.**

- 1) *accumulo a calore sensibile*;
- 2) *accumulo a calore latente* (cambiamento di stato);
- 3) *accumulo a processi termochimici*.

**D) DISTRIBUZIONE ED UTILIZZAZIONE DELL'ENERGIA TERMICA.**

- 1) *dimensionamento delle reti di distribuzione*: teleriscaldamento, materiali coibenti e loro campo di impiego, calcolo degli spessori ottimali;
- 2) *impianti di utilizzazione*: componenti gli impianti di utilizzazione industriali e civili, pompe di calore, pompe di calore ad assorbimento e termochimiche;
- 3) *apparecchiature di regolazione automatica e di contabilizzazione dell'energia termica*.

*Esercitazioni*

Sono costituite da applicazioni numeriche e da complementi.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale sul programma delle lezioni ed esercitazioni.

*Libri consigliati*

Per la parte A saranno disponibili delle dispense del docente, altri testi verranno via via segnalati durante il corso.

**TOPOGRAFIA****AX0004**

(per gli allievi del corso di laurea Ambiente e Territorio)

**Prof. Carlo MONTI***Programma d'esame***1. Elementi di Geodesia.**

Geoide, sferoide ed ellissoide terrestre. Dimensioni dell'ellissoide, coordinate curvilinee, raggi principali di curvatura dell'ellissoide. Ellissoide internazionale. Sfera locale. Campo geodetico e campo topografico. Trasformazioni di coordinate: ellissoidiche, geocentriche, cartesiane, cartesiane locali. Trasformazioni di datum geodetico. Coordinate d'altezza.

**2. Teoria del trattamento delle misure.**

Richiami di concetti fondamentali sulle variabili casuali e sulle variabili statistiche a una e a più dimensioni. Misura della correlazione. Teoria della stima con i minimi quadrati: equazioni d'osservazione parametriche, equazioni di condizione. Ellissi d'errore e verifica dei risultati. Modelli di simulazione.

**3. Strumenti e metodi di misure.**

Strumenti e metodi per la misura di angoli azimutali e zenitali. Metodologie e strumenti per la misura delle distanze. Metodologie e strumenti per la misura dei dislivelli. Giroteodoliti. Rettifiche strumentali e influenza degli errori strumentali residui. Precisione dei diversi metodi e loro campi di applicazione. Strumenti e metodi per il posizionamento dei punti via satellite.

**4. Rilievo generale.****4.1 Il rilievo topografico.**

- Finalità del rilievo - Reti: altimetriche, planimetriche e planoaltimetriche. Progettazione, disegno e compensazione delle reti. Simulazione e verifica - Reti per il controllo dei grandi manufatti, di frane e di subsidenze - Rilievo di dettaglio.

**4.2 Il rilievo fotogrammetrico.**

- Generalità e finalità del metodo - La restituzione grafica e digitale. Problemi di congruenza grafica e numerica. La gestione informatica dei dati rilevati e la loro rappresentazione.

**5. Cartografia.**

5.1 Equazioni differenziali delle carte. Carte conformi, equivalenti e afilattiche. Carte conformi di Gauss e di Lambert. Trasformazioni tra carte e dati geodetici.

**5.2 La cartografia esistente**

- Cartografia mondiale - Cartografia italiana: IGM, Catasto, Carte tecniche, Regionali, altre.

**5.3 La realizzazione delle carte geometriche**

- Rappresentazione grafica - Rappresentazione digitale - Capitolati e collaudo in corso d'opera.

**5.4 Le banche dati territoriali di tipo geometrico e tematico quali basi dei GIS.***Nota per gli studenti*

Gli allievi del C.L. Ambiente e Territorio che desiderano approfondire alcuni argomenti solo accennati nell'ambito di questo corso di inquadramento generale sono invitati a seguire:

- il corso di "Misure Geodetiche" per gli argomenti del rilevamento geodetico satellitare e del controllo delle grandi deformazioni regionali;
- il corso di "Fotogrammetria" per gli argomenti inerenti la produzione fotogrammetrica della cartografia e la sua integrazione nei GIS;
- Il corso di "Telerilevamento" per la produzione della cartografia tematica e per il monitoraggio dell'ambiente.

*Esercitazioni*

Le esercitazioni si dividono in numeriche, strumentali ed applicative. Esse trattano rispettivamente la compensazione delle misure, l'uso degli strumenti e la loro applicazione a rilievi topografici-fotogrammetrici, la descrizione di esempi reali.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in due compiti scritti nel corso dell'anno A.A. e in una prova orale.

*Libri consigliati*

L. Soiaini - G. Inghilleri: *Topografia* ed. Levrotto Bella, Torino.  
 C. Monti - F. Sansò: *Esercizi di Topografia, Cartografia e Geodesia*, ed. CLUP, Milano.  
 G. Bezoari - C. Monti - A. Selvini: *Fondamenti di rilevamento generale*. Voi. 1, Voi. 2, Hoepli, Milano, 1984.

*Libri consultabili*

G. Inghilleri: *Topografia generale*, ed. UTET, Torino.  
 F. Sansò: *Trattamento statistico dei dati*, ed. CittàStudi, 1989, Milano.  
 P. Tardi - G. Laclavère: *Traité de Géodésie*, ed. Gauthier-Villars, Paris.  
 Jordan-Eggert-Kneissl: *Handbuch der Vermessungskunde*, ed. Metzlersche, Stuttgart.  
 G. Bomford: *Geodesy*, Third ed., Oxford.  
 A. Selvini: *Principi di fotogrammetria*, ed. CLUP, Milano.

**TOPOGRAFIA****AX0004**

(per gli allievi di Ingegneria Civile ed Edile)

**Prof. Alberto GIUSSANI***Programma d'esame***1. Elementi di geodesia e cartografia.**

Definizione della topografia. Procedimenti teorici e pratici per la rappresentazione del terreno. Geoidi, sferoidi ed ellissoidi terrestri. Dimensioni dell'ellissoide. Coordinate curvilinee. Raggi principali di curvatura. Linee geodetiche. Teoremi della Geodesia operativa. Campo geodetico e campo topografico. Teorema di Legendre. Deviazione della verticale. Determinazione degli scostamenti tra geoidi ed ellissoidi. Rappresentazione dell'ellissoide sul piano. Classificazione delle rappresentazioni cartografiche. Equazioni differenziali delle rappresentazioni cartografiche. La rappresentazione conforme di Gauss. La cartografia ufficiale italiana.

**2. Teoria della compensazione delle misure.**

Considerazioni generali sulle misure. Variabili statistiche e casuali a una o più dimensioni. Elementi di calcolo delle probabilità. Misure dirette, teoria della stima con i minimi quadrati, media empirica semplice e ponderata e loro varianze. Misure indirette, linearizzazione delle funzioni. Misura indiretta di grandezze mediante un sistema di equazioni. Matrice di varianza-covarianza. Stima della varianza dell'unità di peso. Ellissi d'errore.

**3. Strumenti e operazioni di misura.**

Strumenti e metodi per la misura di angoli azimutali e zenitali. Metodologie e strumenti per la misura delle distanze. Metodologie e strumenti per la misura dei dislivelli. Rettifiche strumentali e influenza degli errori strumentali residui. Precisione dei diversi metodi e loro campi di applicazione. Strumenti e metodi per il posizionamento dei punti via satellite (metodo Global Positioning System).

**4. Rilievo topografico.**

Generalità e finalità del rilievo. Reti: altimetriche, pianimetriche, planoaltimetriche, reti GPS. Progettazione, simulazione a priori, disegno e compensazione rigorosa delle reti. Rilievo di dettaglio. Cenni sui Sistemi Informativi Territoriali (SIT).

**5. Controllo statico delle strutture.**

Generalità: periodicità, affidabilità e precisioni richieste alle misure. Sistemi topografici di controllo di tipo classico e in automatico. Sistemi e strumenti non topografici di controllo tramite misure dirette e misure in automatico delle deformazioni. Analisi delle deformazioni. Gestione informatica dei controlli.

*Esercitazioni:*

Le esercitazioni sono di tipo numerico, strumentale ed applicativo. Sono compresi esercizi di statistica e di compensazione ai minimi quadrati e prove pratiche di utilizzo della strumentazione topografica. Saranno illustrati esempi applicativi di controllo statico di strutture e presentati gli strumenti generalmente utilizzati.

*Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale

*Libri consigliati*

G. Inghilleri: *Topografia Generale*, Ed. UTET, Torino, 1974.

C.Monti, F. Sansò: *Esercizi di topografia, cartografia e geodesia*, Ed. CLUP, 1976.

G. Bezoari, C.Monti, A.Selvini: *Fondamenti di rilevamento generale*, vol. 1,2 Hoepli 1984

L. Soiaini, G.Inghilleri: *Topografia*, Ed. Levrotto e Bella, Torino, 1969.

B. Betti: *Una introduzione al GPS*, Bollettino della Sifet, n.3, 1991.(in distribuzione in Dipartimento)

M. Cominacini: *I distanziometri elettronici topografici*, Bollettino della Sifet, n.3, 1991. (in distribuzione in Dipartimento).

**TRASMISSIONE DEL CALORE****AK0100****Prof. Adriano MUZZIO***Programma d'esame*

**1. Premesse fondamentali:** I meccanismi del trasporto dell'energia - Il postulato del continuo - Cinematica del continuo - Le equazioni di bilancio in forma globale e locale: bilancio della massa, della quantità di moto, del momento della quantità di moto e dell'energia - Il comportamento dei materiali: l'ipotesi dell'equilibrio locale e le equazioni costitutive - La diseuguaglianza entropica - La descrizione adimensionale e l'analisi dimensionale.

**2. Conduzione:** Il vettore densità di flusso di calore - Il postulato di Fourier - L'equazione differenziale della conduzione - Le condizioni iniziali ed al contorno - Le condizioni all'interfaccia per i mezzi compositi - Parametri adimensionali della conduzione - Metodi analitici ed approssimati di soluzione di problemi della conduzione termica - Problemi con cambiamento di fase - Cenni alla conduzione termica nei solidi anisotropi.

**3. Convezione monofase:** Il legame tra sforzi e gradienti di velocità nei fluidi - Le equazioni di Navier-Stokes- Nozioni fondamentali di turbolenza - Il concetto e le equazioni dello strato limite.

**3.1 Convezione forzata:** I parametri adimensionali della convezione forzata - La convezione forzata nei condotti - La convezione forzata all'esterno di superfici.

3.2 Convezione naturale: I parametri adimensionali della convezione naturale - La convezione naturale all'esterno di superfici - La convezione naturale in spazi confinati - La convezione naturale entro canali - La convezione mista.

4. **Convezione bifase:** Nozioni fondamentali di fluidodinamica delle miscele bifasi aeriforme-liquido - I regimi di moto - I modelli monodimensionali - Le perdite di carico.

4.1 Condensazione: La condensazione a film all'esterno di superfici. La condensazione a film nei condotti - Cenni alla condensazione di miscele di vapori - Effetto degli incondensabili - La condensazione a gocce.

4.2 Ebollizione ed evaporazione: Regimi di ebollizione in un liquido in quiete - L'ebollizione a nuclei - Il fenomeno della crisi termica - L'ebollizione a film - L'ebollizione in convezione forzata - Cenni all'ebollizione di miscele binarie.

5. **Irraggiamento:** La radiazione termica - La radiazione del corpo nero - Definizione delle proprietà delle superfici non nere - Proprietà radianti delle superfici reali - Lo scambio termico per irraggiamento tra superfici - La radiazione nei mezzi assorbenti, emittenti e diffondenti - La radiazione in presenza di altre modalità di trasferimento dell'energia.

#### *Esercitazioni*

Le esercitazioni prevedono l'impostazione e la soluzione numerica di esercizi sulla materia svolta nelle lezioni.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consiste in una prova orale.

#### *Libri consigliati*

Appunti alle lezioni.

J.C. Slattery: *Momentum, Energy and Mass Transfer in Continua*, Me Graw-Hill.

R. B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot: *Transport Phenomena*, Wiley.

A.J. Chapman: *Heat Transfer*, Me Graw-Hill.

S. Whithaker: *Fundamental Principles of Heat Transfer*, Pergamon Press.

F. P. Incropera, D.P. De Witt: *Introduction to Heat Transfer*, Wiley.

G. Gugliemini, C. Pisoni: *Elementi di trasmissione del calore*, Veschi.

Riferimenti bibliografici specifici verranno indicati nel corso delle lezioni.

## **TRASMISSIONE NUMERICA**

**AG0267**

**Prof. Sandro BELLINI**

#### *Programma d'esame*

- 1) Modelli dei sistemi di comunicazione. Formulazione statistica dei problemi di trasmissione dell'informazione.
- 2) Rappresentazione geometrica dei segnali e del rumore. Relazioni tra numero di dimensioni e di segnali, durata, banda e ritmo di trasmissione.
- 3) Trasmissione dell'informazione di tipo numerico. Elementi di teoria generale. Struttura e prestazioni dei sistemi ottimali. Capacità dei canali di trasmissione.
- 4) Sistemi pratici di trasmissione numerica. Metodi di modulazione. Trasmissione con interferenza tra i simboli adiacenti. Equalizzazione adattiva. Tecniche per la protezione dai disturbi: codifica-

zione e decodificazione di codici a blocco e convoluzionali. Codifica integrata alla modulazione. Modulazione numerica di frequenza a fase continua.

5) Stima di parametri. Metodi numerici per la sincronizzazione.

#### *Esercitazioni*

Potranno essere proposti temi di studio specifici di natura teorica o applicativa. Gli studenti che intendono svolgere questo lavoro, sceglieranno un tema e ne organizzeranno lo studio avvalendosi dell'aiuto dei Docenti. Il lavoro compiuto potrà costituire argomento di discussione per l'esame.

#### *Modalità d'esame*

L'esame consta di una prova scritta, eventualmente seguita da discussione orale.

#### *Libri consigliati*

G. Tartara: *Teoria dei sistemi di comunicazione*, ed. Boringhieri.

S. Bellini: *Appunti di trasmissione numerica*, in preparazione.

S. Benedetto, E. Biglieri, V. Castellani: *Digital Transmission Theory*, ed. Prentice-Hall (disponibile anche tradotto in italiano, ed. Jackson).

J. G. Proakis: *Digital Communications* (seconda edizione), ed. McGraw-Hill.

Wozencraft, Jacobs: *Principles of Communication Engineering*, ed. Wiley.

F. Carassa, G. Tartara: *Introduzione ai processi casuali*, dispense CLUP.

## **TRATTAMENTO DELLE OSSERVAZIONI**

**AX0101**

(per gli allievi di Ingegneria Ambientale, Elettronica, Elettrica, Nucleare)

**Prof. Fausto SACERDOTE**

Il corso si propone di introdurre alcuni metodi statistici che hanno ampia applicazione in numerose discipline dell'ingegneria, mantenendo un aggancio rigoroso con il linguaggio del calcolo della probabilità ed illustrando con esempi applicativi le procedure di calcolo correntemente adottate.

#### *Programma d'esame*

#### **Stima col metodo dei minimi quadrati.**

Richiami sui concetti di distribuzione marginale, distribuzione condizionata, dipendenza e indipendenza stocastica, correlazione, curva di regressione.

Richiami sulle proprietà della distribuzione normale in dimensione  $n$ .

Richiami sulle stime di massima verosimiglianza.

Impostazione del problema. Esempi fisici.

Espressione dei vincoli in forma parametrica o con equazione di condizione.

Vincoli lineari: deduzione delle formule per gli stimatori nel caso generale. Interpretazione geometrica dei risultati.

Covarianza degli stimatori; stima di  $(\sigma^2)$ .

Ottimalità degli stimatori m.q. nel caso di vincoli lineari.

Regressione lineare.

Il caso dei vincoli non lineari.

### **L'inferenza per le stime col metodo dei minimi quadrati.**

Richiami sulle principali distribuzioni di probabilità degli stimatori relativi a campioni normali.  
Test sulla stima di  $(\sigma^2)^2$ . Presenza di errori grossolani. Ridondanza locale. Affidabilità.  
Verifica della correttezza del modello deterministico.  
Tests sui parametri.  
Scelta del modello di regressione lineare.  
Analisi di varianza.

### **Introduzione alle serie temporali.**

Stimatore di minima varianza.  
Predizione, interpolazione, filtraggio.  
Innovazione.  
Stima ricorsiva. Introduzione al filtraggio alla Kalman.  
Definizione di stazionarietà in senso forte e in senso debole.  
Proprietà della matrice di covarianza per serie temporali stazionarie.  
Cenni ai metodi di stima empirica delle matrici di covarianza.  
Processi autoregressivi.

### *Esercitazioni*

Esercitazioni numeriche su tutti gli argomenti del programma, con uso di calcolatrici tascabili.

### *Modalità d'esame*

Prove scritte durante lo svolgimento del corso, oppure prova scritta agli appelli di esame; colloquio orale.

### *Testi consigliati*

F. Sansò - *Quaderni di trattamento statistico dei dati, II - Teoria della stima, III - Inferenza statistica*, CittàStudi, Milano, 1996  
M.A. Brovelli, F. Migliaccio - *Il trattamento statistico dei dati - Esercizi*, CLUP, Milano, 1990.  
A.M. Mood, F.A. Graybill, D.C. Boes - *Introduzione alla statistica*, McGraw-Hill, Italia.

## **TRATTAMENTO DELLE OSSERVAZIONI**

**AX0101**

(per gli allievi di Ingegneria Civile (str) ed Edile)

**Prof. Luigi MUSSIO**

### *Programma d'esame*

#### **Elementi di calcolo delle probabilità.**

Introduzione alla problematica dei fenomeni non deterministici.  
Definizione di probabilità matematica e primi teoremi.  
Calcolo della probabilità discreto: alcuni esempi notevoli.  
Variabili aleatorie in dimensione 1 e in dimensione n. Densità di probabilità.  
Funzioni di variabili aleatorie, trasformazioni di variabili.  
Media, varianza, momenti. Teorema di Chebishev.  
Distribuzioni marginali, distribuzioni condizionate, dipendenza e indipendenza stocastica, correlazione.  
Curva di regressione, varianza spiegata e varianza residua. Indice di Pearson.  
Distribuzione normale in dimensione n.

Convergenza, teorema centrale, legge dei grandi numeri.

**Teoria della stima e inferenza statistica.**

Stimatori e loro proprietà generali.

Campioni bernoulliani: media campionaria, varianza campionaria, varianza campionaria corretta.

Principio di massima verosimiglianza.

Tests parametrici. Ipotesi semplici e ipotesi composte, livello di significatività, intervallo fiduciario.

Tests su media e varianza di campioni normali.

Tests su medie di campioni numerosi.

Cenni su altri tipi di tests.

Verifica di ipotesi in presenza di ipotesi alternative.

**Stima col metodo dei minimi quadrati.**

Impostazione del problema. Esempi fisici.

Espressione dei vincoli in forma parametrica o con equazione di condizione.

Vincoli lineari: deduzione delle formule per gli stimatori nel caso generale. Interpretazione geometrica dei risultati.

Covarianza degli stimatori; stima di  $(\sigma^2)$ .

Ottimalità degli stimatori m.q. nel caso di vincoli lineari.

Regressione lineare.

Il caso dei vincoli non lineari.

**L'inferenza per le stime col metodo dei minimi quadrati.**

Test sulla stima di  $(\sigma^2)$ . Presenza di errori grossolani.

Verifica della correttezza del modello deterministico.

Tests sui parametri.

Scelta del modello di regressione lineare.

Analisi di varianza.

**Introduzione alle serie temporali.**

Stimatore di minima varianza.

Predizione, interpolazione, filtraggio.

Innovazione.

Stima ricorsiva. Introduzione al filtraggio alla Kalman.

Definizione di stazionarietà in senso forte e in senso debole.

Proprietà della matrice di covarianza per serie temporali stazionarie.

Cenni ai metodi di stima empirica delle matrici di covarianza.

*Esercitazioni*

Esercitazioni numeriche su tutti gli argomenti del programma, con uso di calcolatrici tascabili.

*Modalità d'esame*

Prove scritte durante lo svolgimento del corso, oppure prova scritta agli appelli di esame; colloquio orale.

*Testi consigliati*

F. Sansò - *Il trattamento statistico dei dati*, CLUP, Milano, 1989

M.A. Brovelli, F. Migliaccio - *Il trattamento statistico dei dati - Esercizi*, CLUP, Milano, 1990.

A.M. Mood, F.A. Graybill, D.C. Boes - *Introduzione alla statistica*, McGraw-Hill, Italia.

**TURBOMACCHINE**  
Prof. Carlo OSNAGHI

AK0118

*Programma d'esame*

1. Analisi delle turbomacchine. Descrizione - Classificazione - Teorie di similitudine - Influenza della comprimibilità, della viscosità, della cavitazione.
2. Richiami di termodinamica. Grandezze, principi, equazioni - Equazioni per i gas perfetti e reali - Richiami sul vapore - Rappresentazione delle trasformazioni reali - Rendimenti per stadio e politropici.
3. Elementi di fluidodinamica. Flusso monodimensionale - Velocità del suono - Grandezze di ristagno - Numero di Mach - Onde d'urto e altri fenomeni dissipativi - Sforzi in un continuo - Equazioni di moto e di conservazione di un fluido - Circolazione; definizione e teoremi sui vortici - Moto irrotazionale. Equazioni di moto per fluidi non viscosi in coordinate cartesiane, cilindriche e naturali tridimensionali e bidimensionali - Equazioni del moto relativo - Equazioni per un flusso isentropico e potenziale in 3 e 2 dimensioni - Strato limite. Teoria monodimensionale di uno stadio di turbina e di compressore. Gradi di reazioni - Correzioni elementari alla teoria monodimensionale - Analisi bidimensionali del flusso in uno stadio di turbomacchine - Soluzioni esatte ed approssimate - Influenza degli altri numeri di Mach e delle grandi deviazioni. Flusso tridimensionale e quasi-bidimensionale - Equilibrio radiale - Vortice libero e altri metodi - Flussi secondari in canali mobili.
4. Turbomacchine idrauliche - Turbine - Grado di reazione, coefficienti e rendimenti - Numero di giri caratteristico - Evoluzione delle turbine - Richiami di calcolo sulle Pelton - Organi di regolazione.  
Dimensionamento e tracciamento della girante di una Francis - Dimensionamento delle luci di passaggio, del distributore e della cassa a spirale - Parzializzazione - Spinta assiale - Progettazione e studio di turbine ad elica del tipo Kaplan - Studio del diffusore.
5. Pompe. Studio monodimensionale e correzioni - Teoria del vortice per pompe radiali, assiali e miste - Disegno della girante, del diffusore e della voluta - Prestazioni idrauliche e meccaniche - Cavitazione.
6. Turbomacchine termiche. Compressori centrifughi - Fondamenti e studio monodimensionale - Influenza del numero delle pale - Perdite - Determinazione dei parametri di ottimo funzionamento - Disegno dei canali, del diffusore e della voluta - Compressori multistadi - Compressori avanzati.
7. Compressori assiali. Classificazione e analisi secondo la teoria monodimensionale - Flussi teorici e sperimentali nei canali - Equilibrio radiale - Progetto aerodinamico delle pale - Funzionamento in condizioni "fuori progetto" - Stallo e vibrazioni delle pale - Pompaggio - Effetti di flusso secondario - Compressori supersonici.
8. Turbine assiali a gas e a vapore. Analisi monodimensionale - Scelta dello stadio - Funzionamento in condizioni "fuori progetto" - Flusso nella schiera di palette - Analisi elementare delle turbine pluristadio - stadi transonici e supersonici - Perdita di ammissione parziale - Tipi di attacchi delle palette - Sforzi meccanici e termici - Palette raffreddate per turbine a gas - Materiali per alte temperature - Scarico in vapore umido - Impostazione del progetto.
9. Complementi su problemi meccanici. Giochi - tenute - Equilibrature delle spinte - Perdite meccaniche.
10. Materiali e problemi meccanici relativi alle turbomacchine idrauliche - Fenomeni meccanici e chimici relativi ai materiali - Fenomeno della cavitazione.
11. Generalità sulla progettazione meccanica. Problemi relativi ai dischi e alle pale.

*Esercitazioni*

Per tutti gli allievi sarà richiesto l'impegno di un numero limitato di pomeriggi per i complementi pratici delle lezioni. Tra l'altro sono previsti contatti tecnici ed esercitazioni di laboratorio.

Per gli allievi con progetto e per coloro che sono personalmente interessati a seguire il progetto di una turbomacchina sarà richiesto l'impegno dei pomeriggi delle restanti settimane per lo svolgimento del progetto con gli assistenti disponibili per questo specifico compito.

Avvertenza: Durante il corso verranno concordate eventuali differenziazioni del corso per gli allievi di diversi indirizzi.

*Libri consigliati*

V. Rubbo *Turbine idrauliche. Regolazione. Progetti*, III Edizione. Ed. Bignami

V. Rubbo *Turbine a gas e turboreattori*, V Edizione. Ed. Bignami

Altre opere verranno indicate durante il corso.

Saranno pure disponibili gli appunti di parte delle lezioni.



