

Guide ai corsi di laurea

Politecnico di Torino 1993/94



**Ingegneria chimica**  
**Ingegneria dei materiali**

Le *Guide* sono predisposte sulla base dei testi forniti dai Consigli di corso di laurea.

*Corso di laurea*

Ingegneria civile  
Ingegneria edile  
Ingegneria aeronautica  
Ingegneria chimica  
Ingegneria dei materiali  
Ingegneria elettrica  
Ingegneria meccanica  
Ingegneria nucleare  
Ingegneria delle telecomunicazioni  
Ingegneria elettronica  
Ingegneria informatica  
Ingegneria gestionale  
Ingegneria per l'ambiente e il territorio

*Presidente - Coordinatore*

Prof. Cesare Castiglia  
Prof. Gian Paolo Scarzella  
Prof. Giuseppe Bussi  
Prof. Vito Specchia  
Prof. Aurelio Burdese  
Prof. Mario Lazzari  
Prof. Gustavo Belforte  
Prof. Evasio Lavagno  
Prof. Mario Pent  
Prof. Carlo Naldi  
Prof. Paolo Prinetto  
Prof. Sergio Rossetto  
Prof. Sebastiano Pelizza

Edito a cura del CIDEM  
Centro Interdipartimentale di  
Documentazione e Museo del  
Politecnico di Torino

Supplemento al n. 3, giugno 1993 di *Linee : bollettino di informazione e cultura del Politecnico di Torino / a cura del CIDEM.* Autorizzazione Tribunale di Torino n. 3570 del 29/10/85.

Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino  
Tel. 011.564'6601 - Fax 011.564'6609

Stampato nel mese di luglio 1993 dalla Tipolitografia AGAT  
Via San G.B. Cottolengo 19 - 10152 Torino

## Indice

5	Ingegneria chimica : Presentazione
11	Programmi degli insegnamenti
59	Ingegneria dei materiali : Presentazione
67	Programmi degli insegnamenti
119	Indice alfabetico degli insegnamenti
123	Indice alfabetico dei docenti

**Le Guide ai corsi di laurea in ingegneria.** Scopo fondamentale dei presenti opuscoli è quello di orientare gli studenti nella scelta dei piani di studio. In un momento particolarmente arduo di riforma e di scelte di sviluppo dell'assetto universitario, gli studenti devono poter decidere con il massimo della chiarezza, per potersi adeguare alle innovazioni, ed eventualmente anno per anno farsi ragione e modificare le scelte a seguito delle più specifiche verifiche attitudinali.

Nel 1993/94 sono attivati a Torino tredici *corsi di laurea*, in ingegneria

civile (D)	edile (G)	
chimica (C)	dei materiali (E)	nucleare (Q)
aeronautica (B)	meccanica (P)	elettrica (H)
elettronica (L)	informatica (N)	delle telecomunicazioni (F)
gestionale (M)	per l'ambiente e il territorio (R)	

Per permettere l'approfondimento di competenze metodologiche e di tecniche progettuali realizzative e di gestione in particolari campi, i corsi di laurea possono essere articolati in indirizzi ed orientamenti. Dell'*indirizzo* eventualmente seguito viene fatta menzione nel certificato di laurea, mentre gli *orientamenti* corrispondono a differenziazioni culturali, di cui invece non si fa menzione nel certificato di laurea; gli orientamenti vengono definiti annualmente dai competenti *Consigli dei corsi di laurea*, e ne viene data informazione ufficiale mediante il *Manifesto degli studi*. Nelle pagine di queste *Guide*, di ciascun corso di laurea viene data una breve descrizione, e viene illustrato il programma di attuazione degli orientamenti previsti per ogni indirizzo.

**Gli insegnamenti.** Il nuovo ordinamento didattico<sup>1</sup> prevede diversi tipi di insegnamenti, distinti in monodisciplinari, monodisciplinari a durata ridotta (nel seguito indicati come corsi ridotti), e integrati. Un *insegnamento monodisciplinare* è costituito da 80-120 ore di attività didattiche (lezioni, esercitazioni, laboratori, seminari ecc.) e corrisponde ad una unità didattica o annualità. Un *corso ridotto* è costituito da 40-50 ore di attività didattiche e corrisponde a mezza annualità. Un corso integrato è costituito da 80-120 ore di attività didattiche e corrisponde ad una annualità; esso è svolto - in moduli coordinati di almeno 20 ore ciascuno - da due o, al massimo, tre professori che fanno tutti parte della commissione d'esame.

<sup>1</sup> Decreto rettorale 1096 del 1989-10-31, pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 45 del 1990-02-23.

Ogni corso di laurea corrisponde a 29 annualità complessive, ripartite, in ognuno dei cinque anni di corso, su due *periodi didattici* (detti anche impropriamente semestri); ogni periodo didattico è di durata pari ad almeno 13 settimane effettive di attività. Un'altra novità introdotta dal DPR 20 maggio 1989<sup>2</sup> è costituita dal fatto che non sono prescritti specifici insegnamenti (almeno a livello nazionale) per il conseguimento della laurea in un determinato corso di laurea in Ingegneria, ma sono prescritti i numeri minimi di unità didattiche da scegliere in determinati raggruppamenti disciplinari consistenti in *gruppi*<sup>3</sup> di discipline affini. Lo stesso nuovo Statuto stabilisce l'articolazione dei vari corsi di laurea in termini di *gruppi* e di *unità didattiche*, cosicché ogni Consiglio di corso di laurea può più facilmente adeguare annualmente il piano degli studi alle nuove esigenze richieste dal rapido evolversi delle conoscenze e degli sviluppi tecnologici. Perciò ogni anno i vari Consigli dei corsi di laurea stabiliscono gli insegnamenti ufficiali, obbligatori e non obbligatori, che costituiscono le singole annualità, e le norme per l'inserimento degli insegnamenti non obbligatori, eventualmente organizzati in orientamenti.

Tutte queste informazioni e norme vengono pubblicate ogni anno nel Manifesto degli Studi (v. *Guida dello studente*, pubblicata a cura della Segreteria studenti).

**Finalità e organizzazione didattica dei vari corsi di laurea.** Le pagine di queste *Guide* illustrano per ognuno dei corsi di laurea attivati – ed eventualmente per ognuno dei rispettivi indirizzi attivati – le professionalità acquisibili dai laureati, nonché il concetto ispiratore dell'organizzazione didattica, fornendo tracce schematiche di articolazione delle discipline obbligatorie ed esemplificazioni relative ai corsi facoltativi, organicamente inquadrabili nei vari curricula accademici.

Ogni corso di laurea (tranne rarissime eccezioni) ha previsto in prima attuazione l'organizzazione di tutti i corsi in periodi didattici. Per quanto concerne l'organizzazione didattica e l'attribuzione dei docenti agli insegnamenti, si segnala ancora che:

- alcuni corsi di laurea introducono già al terzo anno una scelta di corsi di indirizzo o di orientamento, che richiedono la formulazione di un'opzione fra le scelte segnalate: tali opzioni vanno esercitate all'atto dell'iscrizione;
- in relazione a talune difficoltà, che possono verificarsi all'atto dell'accorpamento di taluni CL per le discipline di carattere propedeutico (del primo e secondo anno), non è assicurata che la corrispondenza dei docenti indicati con gli effettivi titolari di dette discipline. In alcuni casi, non essendo noto al momento della stampa delle *Guide*, il nome del docente è stato lasciato indeterminato ("Docente da nominare").

<sup>2</sup> Pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 186 del 1989-08-10.

<sup>3</sup> Questi *gruppi* coincidono con quelli dei raggruppamenti concorsuali per i professori universitari.

Corso di laurea in

# Ingegneria chimica

## 1 Profilo professionale

Il corso di laurea in *Ingegneria chimica* costituisce una delle articolazioni dell'ingegneria industriale nella quale ben si configura dal punto di vista dello sviluppo professionale e della matrice tecnologica, pur distinguendosi per lo specifico approccio culturale.

L'afferenza al settore dell'ingegneria industriale, che riguarda essenzialmente lo sviluppo professionale, risulta dal complesso delle discipline di tipo sia scientifico sia tecnologico che costituiscono il bagaglio culturale dell'ingegnere chimico chiamato prevalentemente ad operare nell'industria di processo. A formare tale bagaglio contribuiscono apporti più consolidati derivanti dall'ingegneria strutturale, dalla tecnologia meccanica ed impiantistica ed altri più innovativi, legati all'elettronica, all'analisi dei sistemi ed alla economia industriale.

L'insieme di tali apporti costituisce il supporto di base del corso di laurea, con il quale si intendono fornire al laureato gli strumenti per la valutazione d'insieme dello sviluppo di un qualunque processo industriale. Su tale base si inserisce poi, caratterizzandola, uno specifico contributo proprio dell'ingegneria chimica. Esso consiste essenzialmente nella conoscenza dei meccanismi chimico-fisici, considerati dal punto di vista termodinamico, cinetico, e di trasporto che condizionano e regolano sia le trasformazioni naturali, sia i processi tecnologici. In questo senso, utilizzando la componente culturale specifica così individuata, è possibile per il laureato in ingegneria chimica affrontare criticamente procedimenti industriali di produzione e di trasformazione della materia, allo scopo di ottenere in modo ottimale prodotti di base, intermedi e sostanze chimiche particolari.

Nell'individuazione del profilo professionale dell'ingegnere chimico si è tenuto presente il fatto che la sua specificità non si esplica solo nella professionalità legata all'industria di processo chimico, ma anche nell'approccio a qualunque processo industriale analizzato nei suoi elementi fondamentali di trasformazione e di trasporto della materia. Si può affermare che questo approccio è una prerogativa dell'ingegnere chimico, in quanto connesso con una formazione specifica innestata su una struttura di base tecnico-scientifica di tipo industriale.

Per costruire il *curriculum* di studi dell'ingegnere chimico secondo le indicazioni sopra enunciate, vengono utilizzati differenti supporti didattici: la base di matematica, informatica di base, chimica, fisica, è comune a tutto il settore dell'ingegneria; successivamente viene introdotto un approccio comune al settore industriale costituito da corsi di meccanica, scienza delle costruzioni, elettrotecnica, elettronica, costruzione meccanica, sviluppati al livello di preparazione generale e di individuazione dei principi fondamentali. Più in dettaglio è programmata invece la formazione nell'ambito specifico dell'ingegneria chimica, operando mediante lo sviluppo successivo di tematiche legate alla termodinamica ed alla cinetica applicata, ai fenomeni di trasporto, alla progettazione delle singole apparecchiature, alla definizione complessiva di impianto ed al suo controllo.

Accanto a tali aree culturali, realizzate mediante discipline basate su un approccio metodologico, sono presenti contributi più applicati, i quali, attraverso l'utilizzo degli strumenti in precedenza offerti, sono indirizzati a specifiche tecnologie. Si segnalano in particolare la chimica di processo, le modalità di contenimento dell'impatto ambientale, le tecnologie biochimiche ed alimentari, la tecnologia della produzione e del corretto utilizzo dei materiali.

La figura che emerge da questo profilo professionale è quella di uno specialista con ampie conoscenze di base, che può soddisfare le esigenze non solo dell'industria chimica, ma più in generale di ampi settori produttivi e terziari.

## 2 Insegnamenti obbligatori

L'insieme degli insegnamenti obbligatori, e cioè la somma degli insegnamenti comuni a tutti i corsi di laurea, di quelli comuni al settore industriale, e di quelli caratterizzanti l'ingegneria chimica, è stato costituito allo scopo di fornire una preparazione sia di base sia specifica tecnico-professionale congruente con le indicazioni del profilo professionale precedentemente espone.

Gli insegnamenti di *Analisi matematica 1 e 2*, di *Geometria* e di *Fisica 1 e 2* concorrono alla formazione fisico-matematica di base. L'operazione di riordino ha tuttavia stimolato un'approfondita discussione sui programmi degli insegnamenti e ciò dovrebbe consentire, almeno negli insegnamenti del secondo anno, di poter veder inseriti contenuti particolarmente affini ai vari settori dell'ingegneria.

La preparazione di base è completata da un insegnamento di *Fondamenti di informatica*, in cui vengono fornite agli allievi nozioni introduttive sulla struttura di un elaboratore, sulla rappresentazione dell'informazione al suo interno e sui principali componenti *software* che costituiscono un sistema informatico, e da tre insegnamenti di chimica: *Chimica 1 e 2* e *Chimica organica* (gli ultimi due di tipo ridotto) che dovranno fornire agli allievi una preparazione culturale adeguata nell'area di lavoro più specifica del ramo di ingegneria prescelto.

La formazione di una cultura ingegneristica di tipo industriale, e non propriamente mirata all'area chimica, è affidata ad un insieme di insegnamenti particolarmente coerenti con il profilo professionale già tracciato. Ai tradizionali insegnamenti di *Scienza delle costruzioni*, *Elementi di meccanica teorica ed applicata* (che raccoglie, integrandoli, i contenuti della meccanica razionale e della meccanica applicata) e *Macchine* sono stati accostati quelli di *Applicazioni industriali elettriche* (in cui particolare spazio viene dato alle macchine elettriche, ai trasformatori ed ai quadri, ma anche agli impianti

di terra ed alla normativa tecnica ed anti-infortunistica), di *Elettronica applicata*, di *Tecnologia dei materiali e chimica applicata* e di *Costruzione di macchine*. Quest'ultimo insegnamento è di tipo integrato ed accoglie parte dei contenuti dell'insegnamento di *Disegno tecnico industriale*, fornendo all'allievo non solo criteri di progettazione e costruzione delle macchine, ma anche nozioni in merito alle principali tecniche di rappresentazione di parti ed insiemi di impianto.

Agli insegnamenti di *Chimica industriale 1 e 2* è affidato il compito di formare la cultura processistica dell'allievo; il secondo insegnamento è di tipo integrato e deve contenere nozioni della disciplina di *Sicurezza e protezione ambientale nei processi chimici*, non potendosi disgiungere dallo studio del processo l'analisi della sua compatibilità ambientale interna (cioè relativa all'ambiente di lavoro) ed esterna.

Il blocco degli insegnamenti di principistica ed impiantistica chimica è costituito da cinque insegnamenti e precisamente *Termodinamica dell'ingegneria chimica* (integrato con nozioni di *Elettrochimica*), *Principi di ingegneria chimica 1 e 2* (il secondo integrato con nozioni di *Cinetica chimica applicata*) ed *Impianti chimici 1 e 2* (il secondo integrato con nozioni di *Ingegneria chimica ambientale*). A questi insegnamenti è affidato il compito di preparare l'allievo alla progettazione delle singole apparecchiature e degli impianti chimici, nonché alla conduzione di questi ultimi.

Nel ripartire tra le varie discipline le nozioni indispensabili si è fatto ampio ricorso ad insegnamenti di tipo integrato in modo da affermare esplicitamente l'irrinunciabilità di alcune componenti culturali nella formazione dell'ingegnere chimico. In particolare le nozioni di *Ingegneria chimica ambientale* sono a loro volta di completamento a quelle di *Sicurezza e protezione ambientale nei processi chimici* e devono contribuire a formare nell'allievo quella sensibilità nei confronti del rispetto dell'ambiente che dovrà essere sempre presente nell'esercizio della professione.

L'insieme degli insegnamenti obbligatori è completato da quelli di *Metallurgia*, rivolto in particolare alla scelta dei materiali metallici ed alla conoscenza del loro comportamento in opera, di *Calcolo numerico*, utile, oltre a completare la preparazione matematica degli allievi ed ad aumentarne la familiarità con i mezzi di calcolo automatico, per fornire strumenti di lavoro nel campo del controllo e della modellistica, e di *Istituzioni di economia*, cui è devoluto il compito di fornire all'allievo le nozioni fondamentali di economia utili per l'esercizio della sua professione.

Il quadro didattico di insegnamenti obbligatori sopra delineato vincola rigidamente 25 annualità. Rimangono, per completare il *curriculum*, che è fissato in 29 annualità, 4 annualità che serviranno all'allievo per definire un orientamento tra quelli più avanti proposti.

### 3 Quadro didattico degli insegnamenti obbligatori

---

1:1	(1. anno, 1. periodo didattico) C0231 : Analisi matematica 1 C0621 : Chimica 1
<hr/>	
1:2	C2300 : Geometria C1901 : Fisica 1 C2170 : Fondamenti di informatica
<hr/>	
2:1	C0232 : Analisi matematica 2 C1902 : Fisica 2 C0624 : Chimica 2 (ridotto) C0694 : Chimica organica (ridotto)
<hr/>	
2:2	C1660 : Elementi di meccanica teorica e applicata C5570 : Tecnologia dei materiali e chimica applicata C0290 : Applicazioni industriali elettriche
<hr/>	
3:1	C5975 : Termodinamica dell'ingegneria chimica + Elettrochimica (integrato) C4600 : Scienza delle costruzioni C0510 : Calcolo numerico
<hr/>	
3:2	C3991 : Principi di ingegneria chimica 1 C3430 : Metallurgia fisica C0661 : Chimica industriale 1
<hr/>	
4:1	C0395 : Principi di ingegneria chimica 2 + Cinetica chimica applicata (integrato) C3110 : Macchine W
<hr/>	
4:2	C2601 : Impianti chimici 1 C3040 : Istituzioni di economia C0945 : Costruzione di macchine + Disegno tecnico industriale (integrato)
<hr/>	
5:1	C2605 : Impianti chimici 2 + Ingegneria chimica ambientale (integrato) C0665 : Chimica industriale 2 + Sicurezza e protezione ambientale (integrato) C1710 : Elettronica applicata T
<hr/>	
5:2	X Y Z
<hr/>	

## 4 Orientamenti

Gli orientamenti sono predisposti in modo da fornire all'allievo un significativo approfondimento in alcuni dei settori di maggior importanza dell'ingegneria chimica. Nella scelta dei settori si è voluto accostare ai classici raggruppamenti di insegnamenti di tipo processistico, impiantistico (entrambi integrati da insegnamenti dedicati alla difesa dell'ambiente) e metallurgico anche un raggruppamento dedicato al settore biochimico-alimentare, in fase di rapido sviluppo.

L'allievo dovrà inserire nel proprio piano degli studi 4 insegnamenti scelti in modo coordinato tra quelli dell'orientamento prescelto. I criteri per tale scelta verranno fissati dal Consiglio di Corso di Laurea.

### Orientamento *Impiantistico*

- W C5850 : Teoria dello sviluppo dei processi chimici
- T C4060 : Processi di trattamento degli effluenti inquinanti
- X C2660 : Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti
- Y C4450 : Reattori chimici
- Z C1300 : Dinamica e controllo dei processi chimici oppure  
C4170 : Progettazione di apparecchiature dell'industria chimica oppure  
C5440 : Tecnica della sicurezza ambientale oppure  
C0910 : Corrosione e protezione dei materiali metallici

### Orientamento *Processistico*

- W C5610 : Tecnologia del petrolio e petrolchimica
- T C5850 : Teoria dello sviluppo dei processi chimici oppure  
C1680 : Elettrochimica e tecnologie elettrochimiche oppure  
C4030 : Processi biologici industriali
- X C4050 : Processi di produzione di materiali macromolecolari
- Y C0590 : Catalisi industriale oppure  
C4080 : Processi industriali della chimica fine
- Z C4070 : Processi elettrochimici oppure  
C5700 : Tecnologie industriali oppure  
C5320 : Strumentazione industriale chimica

### Orientamento *Metallurgico*

- W C4780 : Siderurgia
- T C1700 : Elettrometallurgia
- X C3430 : Metallurgia fisica
- Y C5710 : Tecnologie metallurgiche
- Z C4638 : Scienza e tecnologia dei materiali ceramici oppure  
C0910 : Corrosione e protezione dei materiali metallici

Orientamento *Biochimico-alimentare*

- W C3980 : Principi di ingegneria biochimica oppure  
 C5850 : Teoria dello sviluppo dei processi chimici  
 T C4030 : Processi biologici industriali  
 X C2590 : Impianti biochimici  
 Y C2660 : Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti  
 X C2610 : Impianti chimici e processi dell'industria alimentare

# Programmi degli insegnamenti

*I programmi sono riportati in ordine di anno e periodo didattico (a parità, in ordine alfabetico): a questa sezione seguono gli indici alfabetici generali, per titoli degli insegnamenti e per nomi dei docenti. Nell'intestazione ai singoli corsi, dove i titolari del corso siano più d'uno e afferenti ad uno stesso dipartimento, il nome del dipartimento non viene ripetuto.*

*La presente Guida è andata in stampa il 1993-07-21, e quanto riportato è da ritenersi aggiornato a quella data. La ristrettezza dei tempi di edizione non ha permesso di sottoporre all'attenzione dei singoli docenti i testi che seguono per una finale revisione: il CIDEM si scusa con docenti e studenti per eventuali sviste ed errori residui, assumendosene la responsabilità, e ringrazia anticipatamente coloro che vorranno segnalarli.*

## C 0231      Analisi matematica 1

Anno:periodo 1:1 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 52 (settimanali 6/4)

Prof. Stefania De Stefano Viti (Matematica)

### PROGRAMMA

Teoria sugli insiemi.

Insiemi di numeri e loro proprietà: numeri interi, razionali, reali.

Elementi di geometria analitica piana.

Limiti di funzioni di variabile reale.

Successioni.

Continuità e derivabilità.

Proprietà delle funzioni continue e delle funzioni derivabili in un intervallo.

Funzioni elementari.

Approssimazione di funzioni: sviluppi di Taylor.

Integrali indefiniti.

Integrazione definita (secondo Riemann). Integrali impropri.

Equazioni differenziali del primo ordine (a variabili separabili, omogenee e lineari)

Equazioni differenziali del secondo ordine riconducibili al primo ordine.

Equazioni differenziali lineari del secondo ordine a coefficienti costanti.

### BIBLIOGRAFIA

C. Belingeri, F. Bongiorno, F. Rosati, *Matematica -30 (trenta giorni prima dell'inizio dei corsi)*, Aracne, Roma, 1992.

J.P. Cecconi, G. Stampacchia, *Analisi matematica, vol. 1*, Liguori, Napoli, 1980

G. Geymonat, *Lezioni di Analisi matematica 1*, Levrotto & Bella, Torino, 1981.

P. Marcellini, G. Sbordone, *Esercitazioni di matematica* (2 volumi), Liguori, Napoli, 1991.

M. Pavone, *Temi di esame svolti di Analisi matematica 1*, Aracne, Roma, 1993.

M. Pavone, *Integrali impropri e funzioni integrali*, Aracne, Roma, 1992.

## C 0621 Chimica 1

Anno: periodo 1:1 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 40 (settimanali 6/4)

Prof. Bruno De Benedetti (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di fornire le basi teoriche necessarie per la comprensione e l'interpretazione dei fenomeni chimici e di dare una breve rassegna delle proprietà degli elementi comuni e dei loro principali composti.

Esso si articola di conseguenza in tre parti: di chimica generale alla quale vengono dedicate circa 60 ore di lezione; una di chimica inorganica (circa 20 ore di lezione) ed una di chimica organica (5-10 ore di lezione).

**REQUISITI.** Per seguire con profitto il corso sono sufficienti le nozioni di base relative alle leggi generali della chimica, alla simbologia e alla nomenclatura.

### PROGRAMMA

#### *Chimica generale.*

Sistemi omogenei ed eterogenei. Concetto di fase, di composto, di elemento. Leggi fondamentali della chimica. Teoria atomico-molecolare. Legge di Avogadro. Determinazione dei pesi atomici e molecolari. Concetto di mole. Calcoli stechiometrici.

Sistema periodico degli elementi. Il modello atomico di Bohr. L'atomo secondo la meccanica quantistica. Interpretazione elettronica del sistema periodico. I raggi X.

Legame ionico, covalente, metallico. Legami intermolecolari. Grado di ossidazione.

Isotopia. Energia di legame dei nucleoni. Radioattività. Fenomeni di fissione e di fusione nucleare.

Leggi dei gas. Dissociazione termica. Teoria cinetica dei gas. Legge di Graham. Calore specifico dei gas.

Lo stato solido. Reticolo cristallino e cella elementare. Difetti reticolari. Soluzioni solide.

Lo stato liquido. Equazione di Clausius-Clapeyron. Tensione di vapore delle soluzioni. Crioscopia. Pressione osmotica.

Energia interna ed entalpia. Effetto termico delle reazioni. Entropia ed energia libera di reazione. Velocità di reazione. Catalisi. Legge dell'azione di massa. Principio dell'equilibrio mobile. Regola delle fasi. Diagrammi di stato a uno e due componenti. Applicazione della legge delle fasi agli equilibri chimici eterogenei.

Soluzioni di elettroliti. Elettrolisi. Costante di ionizzazione. Prodotto ionico dell'acqua. Acidi e basi. *pH*. Idrolisi. Prodotto di solubilità. Soluzioni tampone. Potenziale d'elettrodo. Serie elettrochimica. Tensioni di decomposizione. Potenziali di ossido-riduzione.

#### *Chimica inorganica.*

Proprietà e metodi di preparazione industriale dei seguenti elementi e loro principali composti: idrogeno, ossigeno, sodio, rame, calcio, zinco, alluminio, carbonio, silicio, azoto, fosforo, cromo, uranio, zolfo, manganese, alogeni, ferro.

#### *Chimica organica.*

Cenni su idrocarburi saturi e insaturi e derivati alogenati; alcoli, aldeidi, chetoni, acidi organici, esteri, ammine, ammidi, nitrili; benzene e suoi omologhi, fenoli, nitroderivati, ammine aromatiche.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni sono dedicate all'ampliamento di alcuni argomenti oggetto di lezione, ad esperienze di laboratorio e a calcoli relativi agli argomenti di chimica generale. Esse vengono integrate dalla proiezione di film didattici.

#### BIBLIOGRAFIA.

- C. Brisi, V. Cirilli, *Chimica generale e inorganica*, Levrotto & Bella, Torino.  
 M.J. Sienko, R.A. Plane, *Chimica: principi e proprietà*, Piccin, Padova.  
 C. Brisi, *Esercitazioni di chimica*, Levrotto & Bella, Torino.  
 P. Silvestroni, *Fondamenti di chimica*, Veschi, Roma.  
 L. Rosemberg, *Teoria e applicazioni di chimica generale*, Collana Schaum, ETAS  
 Kompass.  
 M. Montorsi, *Appunti di chimica organica*, CELID, Torino.

## C 1901 Fisica 1

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 75 esercitazioni 25 laboratori 10 (settimanali 6/2)

Prof. Aurelia Stepanescu Sansoè (Fisica)

Il corso si propone di fornire gli elementi di base necessari per la comprensione della meccanica del punto e dei sistemi, con particolare riguardo al corpo rigido e ai fluidi, dell'ottica geometrica in sistemi ottici centrati, della fisica matematica del campo gravitazionale e coulombiano, dell'elettrostatica nel vuoto.

#### PROGRAMMA

##### *Metrologia.*

Misurazione e incertezza. Sistemi di unità di misura. Analisi dimensionale. Metodo dei minimi quadrati.

##### *Cinematica del punto.*

Moto rettilineo e curvilineo. Moto relativo (classico e relativistico) e covarianza delle leggi fisiche. Riferimenti inerziali e non inerziali.

##### *Dinamica del punto.*

Tre principi di Newton. Forze d'inerzia (pseudo-forze). Interazioni: gravitazionale, elettrostatica, elastica. Vincoli e attrito radente (statico e dinamico). Attrito del mezzo (viscoso e idraulico). Lavoro, potenza. Teorema lavoro-energia cinetica.

##### *Statica del punto.*

##### *Campi conservativi.*

Gradiente. Potenziale. Energia potenziale. Conservazione dell'energia meccanica. Teorema di Stokes. Teorema e legge di Gauss. Campo gravitazionale e coulombiano. Equazione di Poisson.

*Oscillazioni:* armonica semplice, smorzata, forzata. Risonanza. Oscillatore anarmonico. Oscillatori accoppiati.

##### *Dinamica dei sistemi.*

Centro di massa. Prima equazione cardinale. Conservazione della quantità di moto. Seconda equazione cardinale. Conservazione del momento angolare. Corpo rigido. Assi principali d'inerzia. Giroscopio.

##### *Statica dei sistemi.*

##### *Meccanica dei fluidi.*

Legge di Stevino. Legge di Archimede. Equazione di continuità. Teorema di Bernoulli.

##### *Onde elastiche.*

*Ottica geometrica.**Elettrostatica nel vuoto.*

Potenziale di una carica e di un dipolo. Conduttori in equilibrio. Cariche in moto in un campo elettrostatico.

## ESERCITAZIONI

In aula: esercizi applicativi sul programma del corso.

In laboratorio (*computer on line*): misurazione di spostamenti e velocità in caduta libera, e dell'accelerazione di gravità; misurazione del periodo del pendolo semplice in funzione della lunghezza e dell'elongazione; misura dell'indice di rifrazione con il prisma.

## BIBLIOGRAFIA

R. Resnick, D. Halliday, *Fisica, Parte I*, Ambrosiana, Milano, 1982.

C. Mencucci, V. Silvestrini, *Fisica*, Liguori, Napoli, 1987.

D.E. Roller, R. Blum, *Fisica, vol. 1 e 2*, Zanichelli, Bologna, 1984.

M. Alonso, E. J. Finn, *Elementi di fisica per l'università, vol. 1*, Masson, Milano, 1982.

G. A. Saladin, *Problemi di fisica I*, Ambrosiana, Milano, 1986.

S. Rosati, R. Casali, *Problemi di fisica generale*, Ambrosiana, Milano, 1983.

P. Mazzodi, M. Nigro, C. Voci, *Fisica*, SES, Napoli, 1991.

**C 2170 Fondamenti di informatica**

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 74 esercitazioni 24 laboratori 24 (settimanali 6/2/2)

Prof. Silvano Gai (Automatica e informatica)

Il corso intende presentare i fondamenti dell'informatica, con lo scopo di fare acquisire agli allievi una discreta "manualità" nell'uso degli elaboratori, attraverso l'impiego di strumenti di produttività individuale e di linguaggi di programmazione.

Verranno inoltre fornite nozioni introduttive sulla struttura di un elaboratore, sulla rappresentazione dell'informazione al suo interno e sui principali componenti *software* che costituiscono un sistema informativo.

Il corso può essere considerato propedeutico per molti corsi di carattere matematico-fisico che richiedono l'uso del calcolatore per le esercitazioni e lo sviluppo di casi di studio su elaboratori.

## PROGRAMMA

*I fondamenti.*

Sistemi di numerazione. Algebra booleana e funzioni logiche. Codifica dell'informazione.

*L'architettura di un sistema di elaborazione.*

*Hardware e software.* Unità centrale di elaborazione (CPU). Principi base di funzionamento. Varie fasi dell'esecuzione di una istruzione. Cenni sui linguaggi macchina. Struttura a *bus*. Memoria centrale (RAM e ROM). Memoria di massa (*hard e floppy disc*, nastri). Unità di ingresso-uscita (tastiere, video, *mouse* e stampanti). Cenni di tecnologia microelettronica.

*Il software.*

*Software* di base, *software* applicativo, *software* di produttività individuale. Caratteristiche principali del sistema operativo MS-DOS. Fasi dello sviluppo di un programma. I principi della programmazione strutturata. Elementi di programmazione

Pascal. *Software* di produttività individuale: classificazione. I *word processor*: Wordstar IV. Fogli elettronici: il Lotus 123.

*I sistemi informativi.*

Tipologia architetutturale dei sistemi informativi: *personal computer*, *minicomputer*, *workstation* e *mainframes*. I sistemi operativi: *multi-task*, *multi-user*, *real time*.

Interconnessione in rete di elaboratori. Cenni di telematica.

#### ESERCITAZIONI E LABORATORI

Sono previste esercitazioni su *personal computer* in aula e presso i LAIB su: utilizzo del *word processor* Wordstar IV, programmazione in Pascal, utilizzo del foglio elettronico Lotus 123.

#### BIBLIOGRAFIA

Peter Bishop, *Informatica generale*, Vol. 1 e 2, Jackson.

Judy Bishop, *Pascal : corso di programmazione*, Addison Wesley.

## C 2300 Geometria

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 74 esercitazioni 46 (settimanali 6/4)

Prof. Nives Catellani (Matematica)

Il corso si propone di fornire agli studenti una preparazione di base per lo studio di problemi con l'uso di coordinate in relazione alla geometria analitica e di calcolo matriciale in relazione all'algebra lineare.

**REQUISITI.** Operazione di derivazione ed integrazione inerenti al corso di *Analisi matematica 1*, elementi di geometria e trigonometria della scuola media superiore.

#### PROGRAMMA

Calcolo vettoriale.

Elementi di geometria analitica del piano, studio di coniche, coordinate polari e numeri complessi.

Geometria analitica dello spazio: piano, rette, questioni angolari, distanze. Proprietà generali di curve e superfici, sfere e circonferenze, coni, cilindri, superfici di rotazione, quadriche.

Elementi di geometria differenziale delle curve.

Spazi vettoriali, applicazioni lineari. Matrici e sistemi lineari.

Risoluzione di equazioni differenziali lineari a coefficienti costanti di ordine  $n$ .

Autovalori ed autovettori. Forma canonica di Jordan. Spazi euclidei.

#### BIBLIOGRAFIA

Greco, Valabrega, *Lezioni di algebra lineare e geometria*, Levrotto & Bella, Torino.

*Esercizi di algebra lineare e geometria analitica*, CELID.

## C 0232    **Analisi matematica 2**

Anno:periodo 2:1    Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48    (settimanali 6/4)

Prof. Maria Mascarello (Matematica)

Il corso si propone di completare la formazione matematica di base dello studente, con particolare riferimento al calcolo differenziale e integrali in più variabili, alla risoluzione delle equazioni e dei sistemi differenziali ed ai metodi di sviluppo in serie.

**REQUISITI.** Si richiede allo studente il possesso dei metodi di calcolo e delle considerazioni di carattere teorico forniti dai corsi di *Analisi matematica* e di *Geometria*.

### PROGRAMMA

Funzioni continue di più variabili.  
Calcolo differenziali in più variabili.  
Calcolo differenziale su curve e superfici.  
Integrali multipli.  
Integrali su curve e superfici.  
Spazi vettoriali normati e successioni di funzioni.  
Serie numeriche e serie di funzioni.  
Serie di potenze.  
Serie di Fourier.  
Equazioni e sistemi differenziali.

### BIBLIOGRAFIA.

A. Bacciotti, F. Ricci, *Lezioni di Analisi matematica II*, Levrotto & Bella, Torino, (nuova edizione) 1991.  
M. Leschiutta, P. Moroni, J. Vacca, *Esercizi di matematica*, Levrotto & Bella, Torino, 1982

## C 0624    **Chimica 2** (Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 2:1    Impegno (ore): lezioni 23 esercitazioni 12 laboratori 15    (settimanali 2/1/2)

Prof. Franco Ferrero (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso intende approfondire la conoscenza della chimica generale e inorganica e fornire, attraverso l'esame delle relazioni chimico-fisiche del sistema periodico e la trattazione degli equilibri chimici, i fondamenti di tipo chimico di un corso ingegneristico.

**REQUISITI.** Sono propedeutiche le nozioni impartite nel corso di *Chimica I*.

### PROGRAMMA

Il corso comprende una prima parte a carattere generale in cui vengono ripresi alcuni concetti fondamentali di chimica, la reazione chimica e il suo aspetto qualitativo e quantitativo, l'equilibrio chimico da un punto di vista cinetico e termodinamico con le relative costanti ed i fattori che lo influenzano, gli equilibri in soluzione, la dissociazione elettrolitica, gli elettroliti forti e deboli, gli acidi e le basi (teorie di Arrhenius, Brønsted e Lewis), il *pH*.

Nella seconda parte sono trattati quattro tipi fondamentali di reazioni: acido-base, precipitazione, ossido-riduzione, formazione di complessi.

### ESERCITAZIONI

In aula vengono svolte esercitazioni di calcolo riguardanti l'applicazione dei principi teorici relativi ai diversi equilibri: sono calcolati il  $pH$  e le concentrazioni delle diverse specie all'equilibrio di soluzioni di acidi e basi deboli, di soluzioni tampone, di acidi poliprotici e basi poliacide, di anfoteri, di acidi deboli più basi deboli. Sono inoltre eseguiti calcoli relativi a reazioni di neutralizzazione, a reazioni di precipitazione (solubilità e prodotto di solubilità), a reazioni di ossido-riduzione (potenziali, equazione di Nernst, costanti di equilibrio).

**LABORATORI.** In laboratorio vengono eseguite dagli studenti esercitazioni relative all'applicazione delle reazioni con misure volumetriche e potenziometriche elaborate statisticamente secondo la teoria degli errori.

### BIBLIOGRAFIA

M. Freni, A. Sacco, *Stechiometria*, 4. ed., CEA, Milano, 1992.

P. Michelin Lausarot, G.A. Vaglio, *Fondamenti di stechiometria*, Piccin, Padova, 1988.

## C 0694 Chimica organica

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 2:1 Impegno (ore): lezioni 40 esercitazioni 10 (settimanali 3/1)

Prof. Franco Ferrero (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso, oltre a fornire agli allievi i fondamenti della chimica dei composti organici, intende chiarire gli aspetti di base delle reazioni inerenti i processi della chimica industriale organica.

**REQUISITI.** Le nozioni impartite nel corso di *Chimica I*.

### PROGRAMMA

#### *Fondamenti.*

Struttura, proprietà e reattività delle molecole organiche. Isomeria e stereochemica.

#### *Chimica dei composti organici.*

Nomenclatura; proprietà fisiche e chimiche; fonti industriali; reazioni di preparazione e caratteristiche di: alcani, cicloalcani, alcheni, dieni, alchini, areni, alogenuri, alcoli, fenoli, eteri, epossidi, aldeidi, e chetoni, acidi e derivati, ammine, lipidi, carboidrati, amminoacidi e proteine.

#### *Reazioni organiche.*

Natura reagenti, intermedi, meccanismi, aspetti cinetici e termodinamici delle reazioni (radicaliche, eliminazione, addizione, sostituzione, ossidazione e riduzione, sintesi, polimerizzazione).

### BIBLIOGRAFIA

R.J. Fessenden, J.S. Fessenden, *Chimica organica*, (2. ed.), Piccin, Padova, 1983.

J. McMurry, *Fondamenti di chimica organica*, Zanichelli, Bologna, 1990.

G. Ruà, *Nomenclatura di chimica organica*, La Scientifica, Torino, 1990.

G. Russo, *Chimica organica*, CEA, Milano, 1980.

## C 1902    Fisica 2

Anno:periodo 2:1    Impegno (ore): lezioni 75    esercitazioni 25    laboratori 10    (settimanali 6/2)

Prof. Laura Trossi (Fisica)

La prima parte del corso si propone di fornire gli elementi di base necessari per la comprensione dell'elettromagnetismo nel vuoto e nella materia, della teoria delle onde elettromagnetiche e dell'ottica ondulatoria. La seconda parte è rivolta ai principi fondamentali della fisica atomica. La terza parte è dedicata alla termodinamica.

REQUISITI. Le nozioni impartite nel corso di *Fisica 1*.

### PROGRAMMA

Campo elettrico nella materia: dielettrici e conduttori.

Proprietà di trasporto, corrente elettrica, legge di Ohm, effetti termoelettrici.

Campo magnetico nel vuoto e nella materia: sostanze diamagnetiche, paramagnetiche, ferromagnetiche.

Campi elettrici e magnetici dipendenti dal tempo: legge dell'induzione elettromagnetica induttanza e cenni ai circuiti RLC, equazioni di Maxwell.

Onde elettromagnetiche nel vuoto e nella materia: mezzi isotropici e anisotropici.

Ottica ondulatoria: interferenza, diffrazione e polarizzazione della luce.

Interazione della radiazione elettromagnetica con la materia; descrizione effetto fotoelettrico e Compton.

Meccanica quantistica: dualismo onda-particella, principio di indeterminazione di Heisenberg, nozioni introduttive sull'equazione di Schrödinger e funzione d'onda.

Emissione spontanea e indotta: laser.

Termodinamica classica, fino all'introduzione dei potenziali termodinamici, ed elementi di termodinamica statistica: funzione di partizione.

### ESERCITAZIONI

Comprendono sia una parte teorica, in cui si propongono e risolvono problemi inerenti alla materia esposta nelle lezioni, sia una parte sperimentale, in cui gli studenti affrontano la problematica della misura di grandezze fisiche, valendosi della strumentazione esistente nei laboratori didattici (uso di strumenti elettrici, misure relative a circuiti elettrici, misura di indici di rifrazione, di lunghezze d'onda con reticoli di diffrazione).

### BIBLIOGRAFIA

M. Alonso, E.J. Finn, *Elementi di fisica per l'università*, Vol. 2., Masson, Milano.

Amaldi, Bizzarri, Pizzella, *Fisica generale*, Zanichelli.

Mazzoldi, Nigro, Voci, *Fisica*, (per la parte di termodinamica), SES.

## C 0290 Applicazioni industriali elettriche

Anno: periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 20 laboratori 10 (settimanali 5/2)

Prof. Gaetano Pessina (Ing. elettrica industriale)

Il corso propone la conoscenza degli aspetti tecnici attinenti l'utilizzo industriale dell'energia elettrica, sia in generale che, per quanto possibile, riferito a settori di più diretto interesse per l'ingegneria chimica; esso è reso autonomo da una preventiva esposizione dei fondamenti scientifici, vertendo nel suo complesso sull'elettrotecnica generale e sull'elettromeccanica e impiantistica elettrica (rispettivamente per 1/3 e per 2/3 del corso).

### PROGRAMMA

Grandezze elettriche e relative unità di misura.

Materiali conduttori e semiconduttori.

Circuiti in regime stazionario. Campi elettrostatico, di corrente, magnetico.

Materiali isolanti, materiali magnetici.

Generatori di tipo non dinamoelétrico.

Capacità, induttanza; fenomeni transitori, richiamo sui fondamenti della regolazione.

Circuiti in regime sinusoidale; metodo simbolico; potenze in regime sinusoidale.

Generalità sui sistemi trifasi.

Misura di grandezze elettriche e relative strumentazione.

Trasformazioni di energia nelle macchine elettriche.

Trasformatori: principi di funzionamento, problemi della distribuzione e dell'impiego locale; parallelo; informazioni costruttive, di installazione e conduzione.

Motori asincroni trifasi: impiego a frequenza costante; rifasamento; motori monofasi.

Impiego a velocità variabile con *inverter*. Informazioni costruttive, di installazione e conduzione; costruzioni antideflagranti.

Generatori e motori sincroni.

Motori a *cc*; ruolo e implicazioni della commutazione; tipi di eccitazione e regolazioni; alimentazioni statiche; informazioni costruttive, di installazione e conduzione.

Convertitori elettronici di potenza.

Notizie su evoluzioni in corso nell'elettromeccanica industriale.

Normativa e unificazione.

Linee di distribuzione. Cabine industriali. Interruttori, apparecchi di protezione.

Criteri e prescrizioni di sicurezza elettrica; normativa impiantistica.

Controlli e misure sulle macchine e sugli impianti.

Criteri attuali di governo di processi industriali.

### BIBLIOGRAFIA (Indicativa)

Fiorio, Gorini, Meo, *Appunti di elettrotecnica*, Levrotto & Bella.

Civalleri, *Elettrotecnica*, Levrotto & Bella.

Bossi, Sesto, *Impianti elettrici*, Hoepli.

## C 1660 Elementi di meccanica teorica e applicata

Anno: periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 76 esercitazioni 44 (settimanali 6/3)

Prof. Nicolò D'Alfio (Meccanica)

Il corso si propone di fornire agli studenti i principali elementi teorici ed applicativi della meccanica.

REQUISITI. *Analisi 1, Fisica 1 e Geometria.*

### PROGRAMMA

*Geometria delle masse:* baricentri e momenti d'inerzia.

*Cinematica:* velocità e accelerazione di un punto e di un sistema rigido; metodi grafici per la risoluzione dei problemi di cinematica; tipi principali di legge del moto.

*Statica:* vincoli e reazioni vincolari; gradi di libertà di un sistema, equazioni di equilibrio; applicazioni delle equazioni di equilibrio per la risoluzione dei problemi di statica.

*Dinamica:* forze di inerzia, riduzione delle forze d'inerzia; equazioni di equilibrio della dinamica; teorema dell'energia; quantità di moto e momento della quantità di moto.

*Forze agenti negli accoppiamenti:* aderenza e attrito, attrito nei perni; impuntamento; attrito volvente, rendimenti dei meccanismi; urti.

*La trasmissione del moto:* giunti, cinghie, catene, funi, paranchi di sollevamento; ingranaggi cilindrici a denti dritti ed elicoidali; ingranaggi conici a denti dritti, forze scambiate negli ingranaggi; rotismi ad assi fissi, riduzione dei momenti di inerzia; rotismi epicicloidali semplici e composti, differenziale; vite e madrevite; vite senza fine e ruote elicoidali; vite a circolazione di sfere; forze scambiate nelle viti; camme; meccanismi per la trasformazione di un moto continuo in un moto intermittente ed in un moto alternativo; freni a tamburo, a disco e a nastro, lavoro dissipato nei freni; frizioni a disco, centrifughe; cuscinetti a rotolamento e a strisciamento.

*I sistemi meccanici:* accoppiamento tra motori e macchine operatrici; sistemi oscillanti (oscillazioni libere e forzate); sistemi giroscopici; nozioni di meccanica dei fluidi.

ESERCITAZIONI. Nel corso delle esercitazioni vengono svolti esempi illustrativi degli argomenti del corso; una particolare attenzione viene dedicata a mettere in evidenza l'aspetto "reale" dei diversi esercizi proposti.

### BIBLIOGRAFIA

Jacazio, Piombo, *Meccanica applicata alle macchine, vol. 1 e 2*, Levrotto & Bella, Torino.

Ferraresi, Raparelli, *Appunti di meccanica applicata*, CLUT, Torino.

## C 3040 Istituzioni di economia

Anno: periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 40 (settimanali 6/2,4)

Prof. Mercedes Bresso (Idraulica, trasporti e infrastr. civili)

### PROGRAMMA

Gli strumenti per l'analisi del sistema economico (indici modelli, *input-output*, contabilità nazionale).

Cenni di storia dell'analisi economica; crescita e sviluppo dei sistemi economici.

Elementi di microeconomia: i comportamenti degli operatori; la formazione dei prezzi; l'impresa e le decisioni produttive; i mercati dei fattori produttivi; le forme di mercato: mercati concorrenziali e mercati non concorrenziali.

Elementi di macroeconomia: macroeconomia di piena occupazione; macroeconomia con disoccupazione; il ruolo dello Stato e la politica economica: teorie keynesiane e sviluppi recenti.

## C 5570 Tecnologia dei materiali e chimica applicata

Anno: periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 30 laboratori 8 (settimanali 6/3)

Prof. Pietro Appendino (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso verte sullo studio delle proprietà, dei metodi di elaborazione e delle caratteristiche tecnologiche e di impiego dei materiali di più comune utilizzazione nella pratica ingegneristica.

REQUISITI. *Chimica 1 e 2, Chimica organica, Fisica 1.*

### PROGRAMMA

*Acque per uso industriale.* Determinazione, calcolo e metodi di abbattimento della durezza. Deionizzazione con resine scambiatrici. Metodi di distillazione. Elettrodialisi. Osmosi inversa. Cenni sulle acque potabili.

*Combustione e combustibili.* Caratteristiche e metodi di elaborazione dei principali combustibili solidi, liquidi, gassosi. Carburanti. Lubrificanti. Propellenti.

*Materiali solidi.*

Richiami sulle strutture cristalline, sulle soluzioni solide, sulle trasformazioni ordine-disordine, sulle fasi intermedie. Difetti reticolari: vacanze, dislocazioni, bordi di grano, geminati; processi di rafforzamento e di addolcimento.

*Sistemi eterogenei.* Regola delle fasi. Diagrammi di stato binari e ternari.

*Materiali ceramici* tradizionali e refrattari. Materiali ceramici per tecnologie avanzate.

*Materiali leganti aerei.* Cemento Portland, pozzolanico e d'alto forno. Cenni sui calcestruzzi.

*Vetro e vetroceramiche.*

*Materiali ferrosi.*

Produzione della ghisa d'alto forno. Diagrammi di stato ferro-cementite e ferro-grafite. Ghise di seconda fusione. Colata e solidificazione degli acciai. Trattamenti termici e termochimici sui materiali ferrosi.

*Alluminio.* Metallurgia. Principali leghe da getto e da bonifica.

*Rame.* Proprietà fisico-meccaniche. Ottoni e bronzi.

*Zinco, magnesio, titanio.*

*Materie plastiche.* Polimeri e polimerizzazione. Principali tipi di resine termoplastiche e termoindurenti. Elastomeri. Siliconi. Vernici e pitture.

Materiali compositi a matrice polimerica, metallica e ceramica.

ESERCITAZIONI. Proprietà e caratteristiche tecnologiche dei materiali. Criteri di valutazione e calcoli relativi.

### LABORATORI

Saggi analitici e tecnologici su acque, combustibili, lubrificanti, materiali leganti e metalli.

### BIBLIOGRAFIA

C. Brisi, *Chimica applicata*, Levrotto & Bella, Torino, 1981.

P. Appendino, C. Gianoglio, *Esercizi di chimica applicata*, CELID, 1989.

## C 0510 Calcolo numerico

Anno: periodo 3:1 Impegno (ore): lezioni 74 esercitazioni 26 (settimanali 6/2)

Prof. Paola Moroni (Matematica)

Il corso ha lo scopo di illustrare i metodi numerici di base e le loro caratteristiche (condizioni di applicabilità, efficienza sia in termini di complessità computazionale che di occupazione di memoria) e di mettere gli studenti in grado di utilizzare librerie scientifiche (IMSL, NAG) per la risoluzione di problemi numerici.

REQUISITI. *Analisi I, Geometria, Fondamenti di informatica.*

### PROGRAMMA

1. Preliminari. Condizionamento di un problema e stabilità di un algoritmo.
2. Risoluzione di sistemi lineari. Metodo di Gauss; fattorizzazione di una matrice e sue applicazioni; metodi iterativi.
3. Calcolo degli autovalori di una matrice.
4. Approssimazioni di funzioni e di dati sperimentali. Interpolazione con polinomi algebrici e con funzioni *spline*. Minimi quadrati. Derivazione numerica.
5. Equazioni e sistemi di equazioni non lineari: metodo di Newton e sue varianti. Processi iterativi in generale. Problemi di ottimizzazione.
6. Calcolo di integrali. Formule di Newton-Cotes. Definizione e proprietà principali dei polinomi ortogonali. Formule gaussiane. *Routines* automatiche. Cenni sul caso multidimensionale.
7. Equazioni differenziali ordinarie per problemi ai valori iniziali. Metodi *one-step* e *multistep*. Stabilità dei metodi. Sistemi *stiff*.
8. Equazioni differenziali alle derivate parziali. Metodi alle differenze finite.

### BIBLIOGRAFIA

G. Monegato, *Fondamenti di calcolo numerico*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

## C 4600 Scienza delle costruzioni

Anno:periodo 3:1 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 52 (settimanali 4/4)

Prof. Franco Algotino (Ing. strutturale)

Il corso pone le basi per lo studio del corpo deformabile.

Imposta il problema del corpo elastico e presenta la soluzione del problema di Saint Venant. Vengono studiate principalmente strutture monodimensionali (travi e sistemi di travi).

Si imposta infine il problema della stabilità e della non linearità, con trattazione della teoria di Eulero. Oltre alla impostazione teorica ed analitica dei problemi strutturali, particolare riguardo viene dato alle soluzioni ottenute mediante procedimenti numerici.

**REQUISITI.** Statica nel piano e nello spazio, geometria delle aree, analisi matematica, calcolo numerico.

### PROGRAMMA

Richiami di statica e geometria delle aree.

Analisi dello stato di deformazione: componenti della deformazione, deformazioni principali, equazioni di congruenza.

Analisi dello stato di tensione: equazioni di equilibrio, cerchi di Mohr, tensioni principali.

Equazione dei lavori virtuali. Teoremi energetici.

Leggi costitutive del materiale. Il corpo elastico: la legge di Hooke. Tensioni ideali, limiti di resistenza.

Il problema di Saint Venant: impostazione generale del problema, flessione deviata, torsione, taglio.

Il principio di Saint Venant: teoria delle travi.

Travature piane caricate nel loro piano e caricate trasversalmente. Travature spaziali.

Calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti in travature isostatiche ed iperstatiche.

Problemi non lineari con grandi deformazioni. Fenomeni di instabilità. L'asta caricata di punta: teoria di Eulero, l'asta oltre il limite elastico.

### ESERCITAZIONI.

Gli allievi, in gruppi, guidati dal docente, risolvono problemi concreti, ed eseguono elaborati servendosi di *personal computers*.

### BIBLIOGRAFIA.

P. Cicala, *Scienza delle costruzioni, vol. 1 e 2*, Levrotto & Bella, Torino, 1984.

G. Faraggiana, A.M. Sassi Perino, *Applicazioni di scienza delle costruzioni*, Levrotto & Bella, Torino, 1986.

## **C 5975 Termodinamica dell'ingegneria chimica + Elettrochimica**

(Corso integrato)

Anno: periodo 3:1 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 40 (settimanali 6/4)

Prof. Mario Maja (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso viene sviluppato con l'intento di dare agli allievi le basi concettuali necessarie per lo studio delle reazioni e dei processi chimici.

**REQUISITI.** Il corso presuppone la conoscenza della chimica e della fisica.

### **PROGRAMMA**

#### *Termodinamica dell'ingegneria chimica.*

Energetica. Leggi della termodinamica generale; i potenziali termodinamici; equazioni di Maxwell; le equazioni fondamentali (Gibbs, Helmholtz, Clapeyron); bilanci energetici.

Potenziali chimici; sistemi quasi perfetti; le leggi dell'equilibrio chimico; calcolo della resa di una reazione; equilibri bifasici; equilibri di membrana.

Interpretazione molecolare della termodinamica. Statistica e cenni di meccanica quantistica chimica.

Sistemi reali. Equazioni di stato; fugacità ed attività.

Sistemi plurifasici. Leggi dell'equilibrio eterogeneo; teoria e rappresentazione dei diagrammi delle fasi.

Fenomeni superficiali e termodinamica dell'adsorbimento.

#### *Elettrochimica.*

Energetica elettrochimica.

Diagrammi *pH*-potenziale; potenziali di membrana.

Proprietà degli elettroliti; elettroliti solidi; sali fusi; ossidi non stechiometrici.

Conversione dell'energia. Generatori primari e secondari.

### **ESERCITAZIONI**

Vengono svolte esercitazioni in aula ed alcune esercitazioni presso il Laboratorio informatico su vari argomenti quali: i calori di soluzione, gli equilibri di riduzione degli ossidi, le miscele reali ecc.

### **BIBLIOGRAFIA**

M. Maja, *Termodinamica per l'ingegneria chimica*, vol. I-V, Levrotto & Bella, Torino.

## C 0661 Chimica industriale 1

Anno: periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 28 laboratori 20 (settimanali 5/2)

Prof. Giovanni B. Saracco (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso è essenzialmente volto all'acquisizione dell'insieme dei concetti di tipo processistico ed ingegneristico attraverso i quali, dalla conoscenza dell'aspetto chimico di una tecnologia industriale se ne può ottenere la realizzazione pratica.

Nella parte generale del corso, in questo senso, vengono affrontati i principali aspetti termodinamici, cinetici ed in generale chimico-fisici, di una reazione chimica. Da un punto di vista applicativo ed impiantistico vengono considerati nel processo chimico, le caratteristiche delle sostanze coinvolte, le modalità di realizzazione, i bilanci energetici e di materia, le rese; vengono anche prese in esame le interferenze possibili con l'ambiente e, alla luce delle vigenti leggi, i sistemi disponibili per combattere l'inquinamento.

La seconda parte del corso, a titolo di chiarificazione, illustra secondo le prospettive sopra indicate i più importanti processi unitari della chimica industriale organica.

### PROGRAMMA

#### *Parte generale.*

Linee di produzione ed aspetti economici nell'industria chimica; valutazione complessiva di materia ed energia in un processo chimico.

Fabbisogni idrici nell'industria.

Caratteristiche di impiego, in sicurezza, delle sostanze chimiche.

Cenni sulla vigente legislazione per combattere l'inquinamento di acqua, aria e suolo e sui processi di bonifica dei rifiuti idrici ed aeriformi e di trattamento dei rifiuti solidi.

Calcolo delle proprietà delle sostanze.

Aspetti termodinamici, termochimici e cinetici delle reazioni chimiche. Cinetica di reazione, catalizzatori e reattori chimici.

Dimensionamento di reattori ideali continui e discontinui.

Trasferimento di calore in relazione ai livelli termici del processo chimico.

#### *Parte speciale.*

Principali reazioni di interesse industriale nelle sintesi organiche: idrogenazione, deidrogenazione, ossidazione, esterificazione, alchilazione, solfonazione, nitratura, amminazione, ossosintesi, alogenazione, polimerizzazione, ecc.

### ESERCITAZIONI

Nelle esercitazioni in aula vengono illustrati con esempi numerici i concetti di termodinamica e cinetica e gli sviluppi di processo che formano oggetto delle lezioni.

### BIBLIOGRAFIA

R. Rigamonti, *Chimica industriale*, CLUT.

G. Natta, I. Pasquon, *I principi fondamentali della chimica industriale*, CLUT.

G. Genon, M. Onofrio, *Esercitazioni di chimica industriale*, CLUT.

P.H. Groggins, *Unit process in organic synthesis*, McGraw-Hill.



## C 3420 Metallurgia

Anno: periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 10 laboratori 20 (settimanali 6/2)

Prof. Aurelio Burdese (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha lo scopo di fornire criteri razionali di scelta e di controllo dei materiali metallici ed in questo senso affianca le discipline relative alla progettazione, costruzione e conduzione di impianti chimici e meccanici.

Il corso si svolgerà con lezioni ed esercitazioni; verso la fine del corso sono previste visite a stabilimenti.

**REQUISITI.** Oltre ai corsi propedeutici tradizionali (chimica e fisica) è opportuno avere acquisito nozioni di *Termodinamica dell'ingegneria chimica*, *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*, *Scienza delle costruzioni*.

### PROGRAMMA

#### *Metallurgia generale.*

Struttura dei metalli; riflessi dei diagrammi di stato dei sistemi metallici sulle caratteristiche delle leghe corrispondenti; proprietà meccaniche, chimiche (corrosione, ossidazione ad alta temperatura), elettriche e magnetiche; fenomeni di scorrimento viscoso a caldo; metallografia ottica e roentgenografia; macrografia; frattografia.

#### *Tecnologia dei materiali metallici.*

Processi ed impianti di fabbricazione; lavorazione plastica e all'utensile; sistemi di giunzione; trattamenti termici; ricotture, normalizzazione, tempra ordinaria, tempre speciali, rinvenimento; tempra di solubilizzazione e fenomeni di invecchiamento; cementazione; nitrurazione; impianti per trattamenti termochimici; previsione delle proprietà meccaniche dopo trattamento.

#### *Materiali ferrosi.*

Acciai al carbonio; classificazione; usi; caratteristiche strutturali e di impiego degli acciai legati; leghe per turbine; materiali metalloceramici.

#### *Leghe e metalli non ferrosi.*

Pame; ottoni; bronzi comuni e speciali; cupralluminio; alluminio; raffinal; leghe di alluminio per getto e per trattamento termico; magnesio, titanio; zinco; piombo; nichel; cobalto; cromo; manganese; niobio; vanadio; silicio; germanio; lantanidi; attinidi; materiali compositi a matrice metallica.

### ESERCITAZIONI

Prove fisico-meccaniche. Metallografia ottica e roentgenografica. Calcoli di temprabilità degli acciai e di diffusione superficiale di interstiziali in presenza di ambienti carburanti e carbonitruranti.

### LABORATORI

Prove fisico-meccaniche. Metallografia ottica e roentgenografica. Frattografia.

### BIBLIOGRAFIA

A. Burdese, *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici*, UTET, Torino, 1992.

A.H. Cottrel, *An introduction to metallurgy*, Arnold, London.

A.R. Bailey, *A text-book of metallurgy*, McMillan, London.

F. Dieter, *Mechanical metallurgy*, McGraw-Hill - Kogakusha, Tokio.

## C 3991 Principi di ingegneria chimica 1

Anno:periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 65 esercitazioni 52 (settimanali 5/4)

Prof. Giancarlo Baldi (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di illustrare i fondamenti del trasporto di materia, energia e quantità di moto. Sono anche dati concetti fondamentali di cinetica chimica e fisica.

**REQUISITI.** *Termodinamica per l'ingegneria chimica*, i corsi di *Analisi matematica*.

### PROGRAMMA

Cinetica delle reazioni chimiche. Teoria della velocità delle reazioni; energia di attivazione; reazioni a catena; reazioni bimolecolari in fase di gas; reazioni in fase liquida.

Bilancio macroscopico di materia, energia, quantità di moto; idrostatica.

Equazioni costitutive di Fick, Fourier, Newton; cenni ai fluidi non newtoniani.

Equazioni del moto; tensore degli sforzi; equazione di Navier-Stokes e Eulero; equazione dell'energia globale, meccanica e tecnica; equazione di variazione di materia.

Fenomenologia della turbolenza; tensore degli sforzi di Reynolds; profili di velocità in tubi circolari, fattore di attrito e fattore di forma, velocità di decantazione. Equazione di variazione in flusso turbolento di massa ed energia.

Trasporto all'interfaccia: coefficienti integrali di scambio; resistenze in serie; coefficienti globali; resistenze controllanti.

Cinetiche di cambiamento di fase: evaporazione, condensazione, cristallizzazione.

### ESERCITAZIONI

Consistono nell'esecuzione di calcoli relativi ai concetti sviluppati a lezione.

### BIBLIOGRAFIA

R.B. Bird [et al.], *Fenomeni di trasporto*, Ed. Ambrosiana, Milano, 1970.

## C 3110 Macchine

Anno: periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 52 (settimanali 6/4)

Prof. Matteo Andriano (Energetica)

Nel corso vengono esposti i principi termodinamici e fluidodinamici necessari ad una corretta comprensione del funzionamento delle macchine. Viene poi sviluppata l'analisi del funzionamento dei vari tipi di macchine (motrici ed operatrici) di più comune impiego, con l'approfondimento richiesto dall'obiettivo di preparare l'allievo ad essere, nella sua futura attività professionale, un utilizzatore accorto sia nella scelta delle macchine stesse, sia nel loro esercizio. A questo scopo viene dato lo spazio necessario ai problemi di scelta, di installazione, di regolazione sia in sede di lezione, sia in sede di esercitazioni, dove vengono esemplificate le necessarie calcolazioni.

Nelle lezioni saranno sviluppati i concetti mentre nelle esercitazioni verranno eseguite applicazioni numeriche su casi concreti.

**REQUISITI.** Sono necessari i concetti di termodinamica contenuti nel corso di *Termodinamica dell'ingegneria chimica*, e di meccanica contenuti nel corso di *Elementi di meccanica teorica ed applicata*.

### PROGRAMMA

Introduzione. Considerazioni generali sulle macchine motrici e operatrici a fluido.

Classificazioni. Richiami di termodinamica.

Considerazioni generali sulle turbomacchine. Principi fluidodinamici e termodinamici.

Studio delle trasformazioni ideali e reali nei condotti.

Cicli e schemi di impianto a vapore, semplici, combinati, a ricupero, ad accumulo per produzione di energia e calore. Le turbine a vapore semplici e multiple, ad azione ed a reazione, assiali e radiali; regolazione; cenni costruttivi e problemi meccanici tipici. La condensazione. Possibilità e mezzi. Condensatori a superfici e a miscela.

Compressori di gas.

Turbocompressori. Studio del funzionamento e diagrammi caratteristici. Problemi di installazione. Regolazione. Ventilatori.

Compressori volumetrici alternativi e rotativi. Funzionamento. Regolazione.

Turbine a gas. Cicli termodinamici semplici e complessi. Organizzazione meccanica e regolazione.

Macchine idrauliche motrici ed operatrici.

Turbine idrauliche tipiche.

Le pompe volumetriche e quelle centrifughe. Campi di impiego. Caratteristiche di funzionamento. Problemi di scelta e di installazione. La cavitazione. Trasmissioni idrauliche.

I motori alternativi a combustione interna. Studio dei cicli. Funzionamento dei motori ad accensione spontanea e comandata. La combustione. La regolazione.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni sono sempre applicazioni numeriche a casi reali, dei concetti sviluppati a lezione, ed hanno lo scopo sia di migliorare la comprensione dei concetti, sia di dare gli ordini di grandezza.

### BIBLIOGRAFIA

A. Capetti, *Motori termici*, UTET, Torino.

A. Capetti, *Compressori di gas*, Levrotto & Bella, Torino.

A. Dadone, *Macchine idrauliche*, CLUT, Torino.

A.E. Catania, *Complementi di esercizi di macchine*, Levrotto & Bella.

A. Beccari, *Macchine*, CLUT, Torino.

## C 0395 Principi di ingegneria chimica 2 + Cinetica chimica applicata

(Corso integrato)

Anno: periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Silvio Sicardi (Scienza dei materiali e ing. chimica)

La prima parte del corso propone l'applicazione dei principi fondamentali di equilibrio termodinamico e bilanci di materia, energia e quantità di moto alla progettazione delle apparecchiature a stadi. La seconda parte del corso si prefigge di fornire le basi necessarie per il progetto dei reattori chimici.

### PROGRAMMA

#### *Principi di ingegneria chimica 2.*

Progetto di apparecchiature di separazione a stadi. Richiami di equilibrio termodinamico; stadio di equilibrio, stadi multipli a correnti incrociate, in controcorrente, in controcorrente con riflusso. Applicazioni al progetto di operazioni chimiche. Cenni a condizioni di funzionamento non stazionario.

Modelli fluidodinamici. Modelli di sistema perfettamente miscelato ed a pistone; curve distributive dei tempi di permanenza; modello della dispersione longitudinale; cenni a modellistiche più complesse.

#### *Cinetica chimica applicata.*

Trasporto di materia in presenza di reazione chimica. Modello del *film* fittizio, teoria della penetrazione; reazione chimica in sistemi eterogenei fluido-fluido e fluido-solido con catalizzatore.

Reattori chimici ideali. Reattori isotermi, non isotermi ed adiabatici.

Cenni a reattori chimici reali, omogenei ed eterogenei.

### ESERCITAZIONI

Vengono svolti calcoli di progetto delle apparecchiature chimiche definite a lezione.

### BIBLIOGRAFIA

G. Biardi, S. Pierucci, *Operazioni unitarie di impianti chimici*, CLUP, Milano.

K.K. Westerterp [et al.], *Chemical reactor design and operation*.

## C 4780 Siderurgia

Anno: periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 15 (settimanali 5/1)

Prof. Aurelio Burdese (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha lo scopo di affinare la preparazione dell'ingegnere in campo metallurgico, fornendo conoscenze specialistiche sulle leghe ferrose, con particolare riferimento ai processi ed impianti siderurgici, senza però trascurare un più approfondito studio delle proprietà strutturali, meccaniche e chimiche dei prodotti siderurgici e delle loro caratteristiche di impiego.

Per una buona preparazione nel campo specifico occorrono buone nozioni di base sulle metallurgia generale, la tecnologia dei materiali metallici (trattamenti termici e meccanici), e dei materiali refrattari, la teoria e la pratica dei fenomeni di combustione e di trasmissione del calore.

Il corso si svolgerà con lezioni, integrate da esami di schemi costruttivi di impianti ed apparecchiature specifiche con visite a stabilimenti siderurgici.

**REQUISITI.** *Termodinamica dell'ingegneria chimica, Tecnologia dei materiali e chimica applicata, Metallurgia.*

### PROGRAMMA

#### *Chimica fisica dei processi siderurgici.*

Equilibri omogenei ed eterogenei in sistemi di interesse siderurgico. Bagni metallici. Equilibri metallo-scoria. Equilibri di riduzione degli ossidi. Termodinamica dei processi siderurgici.

#### *Teoria e pratica dei processi di riduzione.*

Riducibilità degli ossidi. Sistemi costituiti da ossidi in progressiva riduzione. Equilibri di riduzione degli ossidi di ferro con riferimento all'effetto di ossidi estranei, in particolare dei componenti delle scorie siderurgiche. Riducenti. Riduzioni dirette e indirette. Combustibili. Preriscaldamento e ricupero di calore.

Classificazione e controllo di forni siderurgici.

#### *Ghisa.*

Preparazione del minerale. Altoforno ed impianti ausiliari. Altoforno elettrico e forni per ferroleghe. Seconda fusione. Inoculazione e colata. Sferoidizzazione e malleabilizzazione. Ghise legate. Caratteristiche di impiego delle ghise.

#### *Acciaio.*

Processi di preaffinazione ed affinazione. Disossidazione e colata. Fabbricazione di acciai speciali. Lavorazioni ed utilizzazione dell'acciaio. Trattamenti termici e caratteristiche strutturali e di impiego degli acciai. Comportamento in opera.

### ESERCITAZIONI

Esame di schemi costruttivi e dimensionamento di apparecchiature ed impianti siderurgici.

### BIBLIOGRAFIA

A. Burdese, *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici*, UTET, Torino, 1992.

W. Nicodemi, R. Zoja, *Processi e impianti siderurgici*, Tamburini, Milano.

G. Violi, *Processi siderurgici*, ETAS Kompass, Milano.

## C 5610    Tecnologia del petrolio e petrolchimica

Anno:periodo 4:1    Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 14    (settimanali 5/1)

Prof. Giuseppe Gozzelino (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di fornire una informazione di base ed attuale sugli aspetti chimici e tecnologici della trasformazione del petrolio grezzo in prodotti commerciali di largo impiego. Attraverso analisi termodinamiche, cinetiche e processistiche si sviluppa una rassegna e studio delle tecnologie impiegate nella raffinazione del greggio e dei processi sviluppati su scala industriale per ottenere dagli idrocarburi prodotti funzionalizzati di impiego generale e monomeri per la produzione di materiali polimerici.

**REQUISITI.** *Chimica, Chimica organica, Termodinamica dell'ingegneria chimica, Principi di ingegneria chimica, Chimica industriale.*

### PROGRAMMA

Aspetti storici ed economici dell'impiego industriale degli idrocarburi derivati dal petrolio; prodotti industriali di derivazione petrolchimica; caratterizzazione e valutazione tecnologica delle materie prime.

Processi di raffinazione; separazione e purificazione delle miscele idrocarburiche di interesse energetico e petrolchimico; conversione delle frazioni gassose e liquide mediante processi catalitici di *cracking*, alchilazione, isomerizzazione, *reforming*, oligomerizzazione.

Produzione di mono- e diolefine attraverso *steam cracking* e deidrogenazione; separazione e purificazione dei prodotti.

Produzione di aromatici e frazionamento delle miscele BTX; reazioni di interconversione e alchilazione aromatica.

Processi per acetilene, *n*-paraffine, carbonio industriale.

Prodotti di impiego generale e monomeri derivati dalle olefine per idroformilazione, ossidazione, idratazione, alogenazione.

Aspetti di ecologia e sicurezza nell'impiego energetico e chimico dei petrol-derivati.

Processi per l'ottenimento di alcuni prodotti finiti di origine petrolchimica (detergenti, fibre, polimeri).

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni consistono in applicazioni, eventualmente in laboratorio, dei concetti sviluppati a lezione.

### BIBLIOGRAFIA

C. Giavarini, A. Girelli, *Tecnologia del petrolio*, Siderea, Roma.

C. Giavarini, A. Girelli, *Petrochimica*, Siderea, Roma.

J.M. Gary, G.E. Handwerk, *Petroleum refining*, Dekker, New York.

## C 5850 Teoria dello sviluppo dei processi chimici

Anno: periodo 4,5:1 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 28 (settimanali 4/2)

Prof. Umberto Arena (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Sono illustrati i criteri per la valutazione e lo sviluppo di un processo chimico sulla base di parametri di mercato, tecnici ed economici. Viene inoltre trattata l'ottimizzazione economica degli impianti e la redditività dei processi.

Il corso si sviluppa con lezioni ed esercitazioni di calcolo indirizzate ad una valutazione quantitativa delle conoscenze acquisite durante le lezioni.

### REQUISITI

Le nozioni impartite nei corsi di *Principi di ingegneria chimica* e di *Impianti chimici*.

### PROGRAMMA

Definizione di un processo chimico. Fasi e stadi di sviluppo di un processo. Progetto di un processo: schemi di flusso; bilanci di materia e di energia, gradi di libertà. Tecniche sistemistiche per la quantificazione dei processi: metodo dei grafi; determinazione dei cicli massimi; *partitioning*; *tearing*.

Aspetti economici del processo: ricerche di mercato (interesse del prodotto e disponibilità di materie prime). Cenni di matematica finanziaria: interesse, piani di rimborso capitali, deprezzamenti. Valutazioni economiche: flussi dei costi e dei profitti. Investimento richiesto e sua pianificazione. Costo del prodotto e prezzo di indifferenza. Redditività di un processo: parametri legati al tempo, al capitale e all'interesse. Criteri di scelta fra più processi di fabbricazione di uno stesso prodotto in base alla redditività: albero delle decisioni. Implicanze economiche di processi di coproduzione. Economia di scala.

Analisi dei costi. Criteri di valutazione di: costi di impianto e di installazione, capitale circolante; costi delle materie prime; costo della mano d'opera; costo delle *utilities*; costo della manutenzione; interessi sul capitale; costi generali di fabbrica; costi amministrativi; costi di distribuzione e *marketing*.

### BIBLIOGRAFIA

D.M. Himmelblau, K.B. Bischoff, *Process analysis and simulation: deterministic systems*, Wiley, New York, 1968.

T.J. Williams, *Systems engineering for the process industries*, McGraw-Hill, New York, 1961.

H. Popper, *Modern cost-engineering techniques*, McGraw-Hill, New York, 1970.

L.A. Kane, *Process control and optimization handbook*, Gulf Publ., Houston, 1980.

## C 0945 Costruzione di macchine + Disegno tecnico industriale

(Corso integrato)

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 laboratori 6 (settimanali 6/4)

Prof. Giovanni Roccati (Meccanica)

Prof. Giovanni Podda (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

Il corso si propone di permettere all'allievo di padroneggiare i principali fenomeni statici e dinamici che si incontrano nel progetto di elementi meccanici e strutture tipici degli impianti chimici; si introduce inoltre l'allievo al metodo degli elementi finiti illustrando le applicazioni al calcolatore. La parte integrante di *Disegno tecnico industriale* si occupa della rappresentazione grafica dei recipienti in pressione, soprattutto in relazione alla preparazione dei lembi da saldare ed alla calandratura delle lamiere.

**REQUISITI.** *Scienza delle costruzioni ed Elementi di meccanica teorica ed applicata.*

### PROGRAMMA

#### *Costruzione di macchine.*

Tensore e vettore della tensione. Tensioni e direzioni principali; autovalori ed autovettori. Cerchi di Mohr nello spazio. Invarianti. Ipotesi di rottura: materiali fragili e duttili. Teoria della deformazione. Effetti d'intaglio: materiali duttili e fragili; sollecitazioni statiche e a fatica. Fatica cumulativa (Miner); diagrammi e curve *master*: meccanica della frattura: Westergaard, legame fra lunghezza della cricca e tensione applicata; effetto dello spessore. Meccanica della rottura a fatica; piani di controllo della frattura. Gusci assialsimmetrici in campo membranale. Recipienti con e senza intercapedine. Lastre piane sollecitate nel loro piano e tubi spessi. Piastre in flessione debole. Effetti di bordo nei gusci cilindrici.

Coefficienti di sicurezza di carico e di sollecitazione.

Calcolo statico ed a fatica di bulloni e cordoni di saldatura.

Metodo matriciale di rigidità per calcolo strutturale: travi e barre. Cenni su equazione dei lavori virtuali e metodo degli elementi finiti: elementi piani, assialsimmetrici, piastre e gusci a spostamenti assegnati; elementi isoparametrici.

#### *Disegno tecnico industriale.*

Tecniche di taglio e trattamenti delle lamiere: lamiere qualificate e non, taglio delle lamiere (ossiacetilena, al plasma, a getto d'acqua, per via meccanica, mediante elettrodo); lavorazione e stoccaggio. Procedimenti di saldatura; elettrodi speciali acidi e basici; cricche a caldo e a freddo; ritiro del cordone dopo deposizione; riflessi sulla qualità meccanica. Normative su qualificazione dei procedimenti di saldatura e dei saldatori; classi dei giunti di testa e a  $T$  a piena penetrazione.

Il sistema di tolleranze ed accoppiamenti UNI-ISO. Cenni sulla tecnologia di lavorazione per asportazione di truciolo.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI

Esercizi applicativi della teoria. Progetto e disegno di un recipiente in pressione. Applicazioni al calcolatore del metodo degli elementi finiti.

**BIBLIOGRAFIA.** Appunti del corso.

## C 1300 Dinamica e controllo dei processi chimici

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 28 (settimanali 4/2)

Prof. Giorgio Rovero (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha lo scopo di fornire all'allievo ingegnere i principi fondamentali necessari per affrontare i problemi di regolazione dei processi e degli impianti chimici.

**REQUISITI.** *Analisi matematica 1 e 2, Termodinamica dell'ingegneria chimica, Principi di ingegneria chimica 1 e 2.*

### PROGRAMMA

Specifiche del controllo di un impianto chimico. Aspetti di progetto di un sistema di controllo. Configurazione introduttiva di controlli retroattivi, anticipativi e deduttivi.

Componenti di un sistema di controllo. Scelta e dimensionamento di una valvola di controllo. Assegnazione di corrette perdite di carico ad una valvola.

Modellazione del comportamento statico e dinamico dei processi chimici: variabili ed equazioni di stato, esempi di modellazione matematica. Considerazioni sulla modellazione a scopo di controllo, gradi di libertà di un sistema chimico.

Simulazione al *computer* e linearizzazione dei sistemi non lineari. Diagrammi a blocchi e loro relazioni algebriche.

Trasformate di Laplace. Risoluzione di equazione differenziale con Laplace.

Funzioni di trasferimento e modelli *input-output*.

Analisi qualitativa della risposta di un sistema nel tempo. Comportamento dinamico dei sistemi del 1° ordine. Comportamento dinamico dei sistemi del 2° ordine. Esempi di sistemi del 1° e 2° ordine. Comportamento dinamico di sistemi di ordine superiore e anomali.

Analisi e progetto di sistemi a controllo retroattivo: simbologia degli schemi di controllo, *PaID*, logica dei controllori, funzioni di trasferimento dei componenti nei sistemi di controllo. Controllo dinamico dei processi controllati a *feedback*: effetto della componente proporzionale, integrale e derivativa. Analisi di stabilità dei sistemi a *feedback*. Introduzione alle tecniche in frequenza. Diagrammi di Bode e Nyquist. Progetto dei controllori a *feedback* con le tecniche di frequenza. Tecniche di *tuning* di Ziegler-Nichols e Cohen-Coon. Controllo a *feedback* di sistemi con grande ritardo o risposta inversa.

Sistemi di controllo a cicli multipli.

Controllo *feedforward*. Confronto fra *feedback* e *feedforward* e loro accoppiamento.

Sistemi di controllo adattivi e deduttivi.

Esemplificazione di tracciamento di diagrammi *PaID* da un problema reale.

### ESERCITAZIONI

(Condotte presso il laboratorio informatico). Simulazione dinamica e di stabilità di sistemi a ciclo aperto e a ciclo chiuso e conseguente determinazione dei parametri necessari alla progettazione e alla scelta dei controllori.

### BIBLIOGRAFIA

Coughanour, Koppel, *Process system analysis and control*, McGraw-Hill, 1965.

Smith, Corripio, *Principles and practice of automatic process control*, 1985.

Stephanopoulos, *Chemical process control*, 1984.

## C 2601 Impianti chimici 1

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 65 esercitazioni 52 (settimanali 5/4)

Prof. Romualdo Conti (Scienza dei materiali e ing. chimica)

L'insegnamento fornisce agli allievi i criteri di progettazione di alcuni gruppi di apparecchiature di frequente impiego nell'industria chimica, dedicando particolare attenzione al loro inserimento nell'impianto produttivo. Il dimensionamento delle apparecchiature viene pertanto completato da indicazioni su modalità di allacciamento, alimentazione, scarico, supportazione, ecc., anche in relazione a necessità di coibentazione ed a problemi di dilatazioni termiche.

### PROGRAMMA

Vengono considerate le principali apparecchiature per le seguenti operazioni:

- a) *trasferimento di calore*: scambiatori di calore a tubi coassiali, a fascio tubiero, a piastre, ecc.; condensatori; evaporatori; elementi per il controllo termico di reattori agitati e serbatoi;
- b) *trasferimento di materia*: lisciviatori (con cenni sulle più comuni apparecchiature di comminuzione); colonne di assorbimento e di distillazione; scambio di materia nei reattori agitati multifasici;
- c) *trasferimento simultaneo di calore e di materia*: essiccatori e cristallizzatori;
- d) *agitazione e miscelazione* di sistema omogenei ed eterogenei con particolare riferimento ai reattori agitati multifasici (sospensione di una fase solida in una liquida continua, dispersione di una fase gassosa gorgogliante, ecc.);
- e) *fluidizzazione*.

### ESERCITAZIONI

Consistono nello studio di fattibilità di un impianto chimico, basato sul progetto di massima delle apparecchiature principali e sulla successiva elaborazione di una proposta di loro disposizione corredata dai necessari disegni.

### BIBLIOGRAFIA

J.M. Coulson, J.F. Richardson, *Chemical engineering. Vol. 2, Unit operations*, Pergamon, Oxford, 1973.

Come testi di consultazione possono essere indicati:

E.E. Ludwig, *Applied process design for chemical and petrochemical plants*, Gulf Publ., Houston.

D.Q. Kern, *Process heat transfer*, McGraw-Hill, London.

N. Harnby, M.F. Edwards, A.W. Nienow, *Mixing in the process industry*, Butterworths, London.

## C 3980 Principi di ingegneria biochimica

Anno/periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 26 (settimanali 4/2)

Docente da nominare (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso è finalizzato sia a fornire una serie di nozioni biologiche di base sia al trasferimento di metodologie di analisi tradizionali dell'ingegneria chimica ai sistemi biologici in reazione.

Il corso è propedeutico agli insegnamenti di *Processi biologici industriali ed Impianti biochimici*, di cui costituisce gli indispensabili fondamenti.

REQUISITI. *Principi di ingegneria chimica 1 e 2, Calcolo numerico.*

### PROGRAMMA

#### a) Nozioni di biologia.

La struttura cellulare: cellule eucariotiche e procariotiche; batteri, lieviti, muffe, alghe, protozoi, cellule animali.

Struttura delle molecole biologiche: non informazionali: carboidrati e lipidi; informazionali: proteine, enzimi; miste: membrane biologiche. Reattività e struttura: enzimi.

Strutture informative: dai nucleotidi ad RNA e DNA. Principi di genetica: DNA ricombinante a fini industriali.

#### b) Principi di ingegneria biochimica.

Termodinamica dei processi irreversibili: equilibrio e trasformazioni cellulari.

Energetica dei sistemi biologici: catabolismo e anabolismo; reazioni esoergoniche ed endoergoniche.

Bilanci macroscopici di massa ed energia nei sistemi aperti.

Stechiometria della reazioni biologiche: concetto di "accoppiamento": l'entalpia di reazione.

Fenomeni di trasporto: passivo, facilitato, attivo; proprietà di trasporto di molecole biologiche.

Cinetiche biologiche: tecniche per la riduzione delle complessità formali: approccio *lumping*, tecnica dei rilassamenti. Misure cinetiche: reattore integrale e differenziale; problemi di accoppiamento tra misure sperimentali e modelli teorici.

Approcci modellistici alla dinamica biologica: sistemi monocolturali e policolturali, modelli deterministici, stocastici e *fuzzy*; stabilità puntuale e asintotica.

Bioreattoristica: *batch*; CSTR: stabilità e molteplicità cinetica e termica.

Reattori a pistone: immobilizzati: a letto fisso, fluidizzato; valutazione delle resistenze controllanti.

Un particolare bioreattore: *fed-batch*, stabilità e controllo.

Reattori a membrana.

Interazione tra fluidodinamica e biofase: agitazione e morfologia; la teoria della turbolenza isotropica di Komogoroff; valutazione delle proprietà di trasporto dei brodi.

Principi di bioseparazione: gradienti chimici ed elettrochimici, termodinamica e proprietà dei sistemi polifasici.

Essiccamento e denaturazione: la liofilizzazione quale principio di bioseparazione.

Separazione attraverso membrane.

### ESERCITAZIONI

Verteranno su esempi numerici relativi agli argomenti del corso.

### BIBLIOGRAFIA

J. David Rawn, *Biochimica*, McGraw-Hill, 1990.

J.A. Roels, *Energetics and kinetics in biotechnology*, Elsevier Biomedical, 1983.

E. Lightfoot, *Transport phenomena and living systems*, Wiley, New York, 1974.

## C 4450 Reattori chimici

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 26 laboratori 26 (settimanali 4/2/2)

Prof. Italo Mazzarino (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di approfondire lo studio dei reattori chimici fornendo agli allievi le conoscenze indispensabili per il progetto e l'esercizio di tali apparecchiature.

### PROGRAMMA

Reattori polifasici gas-liquido, gas-solido e gas-liquido-solido.

Modellistica dei reattori chimici in regime stazionario ed in condizioni dinamiche.

Metodi numerici di risoluzione dei modelli matematici.

Valutazione sperimentale dei parametri fluidodinamici e cinetici del reattore chimico.

Tecniche di analisi dinamica. Reattori di laboratorio. Problematiche di *scale-up* e *scale-down* di reattori polifasici.

Aspetti termici del reattore chimico. Molteplicità degli stati stazionari. Criteri di stabilità termica. Reazioni in condizioni non controllate. Sicurezza operativa dei reattori chimici.

### ESERCITAZIONI

Esercizi di calcolo su argomenti trattati nel corso.

LABORATORIO INFORMATICO. Studio di un modello matematico di un reattore chimico polifasico e simulazione dinamica al computer.

### BIBLIOGRAFIA

K.R. Westerterp [et al.], *Chemical reactor design and operation*.

G.F. Fromant, K.B. Bishoff, *Chemical reactor analysis and design*.

## C 0665 Chimica industriale 2 + Sicurezza e protezione ambientale nei processi chimici

(Corso integrato)

Anno/periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 25 laboratori 10 (settimanali 6/2)

Prof. Norberto Piccinini (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Attraverso la descrizione ragionata dei principali processi industriali il corso si propone di fornire un quadro attuale delle linee di sviluppo dell'industria chimica. I processi scelti sono esaminati con l'intento di evidenziare come la disponibilità di materie prime, i fattori chimico-fisici e tecnologici, i criteri di sicurezza e l'impatto ambientale contribuiscono alla scelta ed influenzino i processi stessi e le scelte industriali.

### PROGRAMMA

#### *Incidenti e rischi nell'industria chimica.*

Evoluzione degli incidenti nelle attività industriali. Pericolosità di prodotti e di reazioni chimiche (tossicità delle sostanze chimiche; reazioni di ossidazione ed esplosive). Anche dati incidenti. Valutazione probabilistica dei rischi.

#### *Identificazione degli eventi pericolosi.*

Analisi storica. Metodi ad indici (Dow-ICI). Liste di controllo. Revisioni di sicurezza. Analisi di operabilità. *Dot chart*. Analisi dei modi di guasto e degli effetti (FMEA). Eventi esterni.

#### *Evoluzione negli eventi pericolosi.*

Diagramma delle sequenze incidentali. Albero dei guasti. Albero degli eventi. Diagramma logico cause-conseguenze.

#### *Stima della frequenza di eventi pericolosi.*

Risoluzione quantitativa di alberi logici (richiami di algebra logica). Analisi di congruenza e completezza. Insiemi minimi di taglio (MCS). Principi di affidabilità di componenti e sistemi. Risoluzione di alberi logici con programmi di calcolo. Analisi di sensitività. Dati affidabilistici.

#### *Tecnologie chimiche industriali.*

*Parte generale.* Scelte e criteri per la realizzazione dei processi chimici.

*Parte speciale.* Liquefazione e frazionamento dell'aria; produzione di ossigeno ed azoto. Produzione di idrogeno e di gas di sintesi (idrogeno per via elettrolitica e da idrocarburi, conversione dell'ossido di carbonio, purificazione dei gas di sintesi).

*Industrie di produzione di:* Ammoniaca. Acido nitrico. Zolfo ed acido solforico. Carbonato sodico. Cloro-soda. Acido cloridrico. Fosforo ed acido fosforico. Biossido di titanio. Produzione di fertilizzanti: azotati; fosfatici; potassici e complessi. Lavorazione del petrolio e suoi derivati. Il gas naturale; produzione di etilene, altre olefine ed acetilene. Elastomeri (gomma). Zucchero. Cellulosa e derivati.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI

Analisi particolareggiata di affidabilità e sicurezza di un processo chimico. Esperienze pratiche di esercitazioni antincendio.

### BIBLIOGRAFIA

N. Piccinini, *Affidabilità e sicurezza nell'industria chimica*, SCCFQIM, Barcellona, 1985.

S. Messina, N. Piccinini, G. Zappellini, *Valutazione probabilistica di rischio*, 3ASI. D.A. Crowl, J.F. Louvar, *Chemical process safety*, Prentice Hall, 1990.

I. Pasquon, *Chimica industriale 1*, CLUP, Milano.

L. Berti [et al.], *Processi petroliferi e petrolchimici*, D'Anna, Firenze.

## C 1680      Elettrochimica e tecnologie elettrochimiche

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 40 (settimanali 6/4)

Prof. Paolo Spinelli (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso presenta gli aspetti dell'elettrochimica che sono di particolare interesse per l'ingegnere chimico, sia per i contenuti di tipo formativo, sia per le connessioni con importanti settori quali la produzione di energia, le tecnologie avanzate, i processi biologici, la corrosione. I concetti di base vengono sviluppati in funzione dell'utilizzazione tecnico-scientifica dei metodi elettrochimici.

### PROGRAMMA

*Proprietà degli elettroliti.*

Conducibilità. Teoria di Arrhenius. Teoria di Debye e Hückel. Coefficienti di attività degli ioni. Numeri di trasporto. Elettroliti solidi.

*Studio delle reazioni elettrochimiche.*

Leggi di Faraday. Bilancio energetico dei sistemi elettrochimici. Rendimento di corrente e rendimento energetico. Tensione di celle galvaniche e loro misura. Potenziali di diffusione. Potenziali di membrana ed elettrodi specifici per gli ioni. Elettrodi reversibili semplici e multipli. Elettrodo campione ed elettrodi di riferimento. Diagrammi potenziale-pH.

*Polarizzazione e cinetica dei processi elettrochimici.*

Elettrodi polarizzabili e corrente residua. Doppio strato elettrico. Curve caratteristiche corrente-tensione. Sovratensione di barriera, di diffusione, di reazione, di cristallizzazione. Corrente limite di diffusione. Passivazione dei metalli e caratteristiche degli strati passivanti. Isopolarizzazione. Cenni di corrosione.

*Applicazioni analitiche.*

Potenziometria e titolazioni potenziometriche. Polarografia. Cronopotenziometria. Amperometria. Coulombometria.

*Cenni sulle principali applicazioni industriali.*

Principi della raffinazione e della produzione elettrochimica dei metalli. Cenni di galvanotecnica. Cenni sulla lavorazione elettrochimica dei metalli. Generatori elettrochimici.

### ESERCITAZIONI

Misura dei potenziali di diffusione. Titolazioni potenziometriche. Polarografia. Polarizzazione degli elettrodi. Curve caratteristiche. Passivazione del Fe, Ni e Pb. Protezione catodica.

### BIBLIOGRAFIA

G. Bianchi, T. Mussini, *Elettrochimica*, Tamburini Masson, Milano, 1976.

G. Kortum, *Trattato di elettrochimica*, Piccin, Padova, 1968.

## C 1710 Elettronica applicata

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Maurizio Zamboni (Elettronica)

Il corso intende fornire i principi base dell'elettronica con particolare riferimento alle applicazioni dei dispositivi, dei componenti elettronici e dei sistemi elettronici soprattutto in relazione alle loro applicazioni in ambiente industriale.

**REQUISITI.** Le nozioni del corso di *Applicazioni industriali elettriche*.

### PROGRAMMA

Richiami di elettrotecnica di base; analisi di reti nel dominio del tempo e della frequenza; analisi di transistori.

Componenti passivi ed attivi: concetto di modello elettrico; resistenze, induttanze, condensatori; diodi; transistori.

Amplificatori: classificazione ed impiego; reazione positiva e negativa; amplificatori operazionali; oscillatori.

Circuiti non lineari; applicazioni con diodi ed amplificatori operazionali.

Alimentatori e regolatori.

Acquisizione dati: definizione di conversione digitale/analogica ed analogica/digitale; convertitori A/D e D/A; *sample & hold*; sistemi di acquisizione dati.

Elaboratori elettronici: cenni all'algebra di Boole, circuiti logici combinatori e sequenziali, famiglie logiche bipolari e MOS, organizzazione di un elaboratore, descrizione di una unità centrale integrata; cenni sui linguaggi e sui sistemi operativi.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI

Le esercitazioni riguardano l'approfondimento dei concetti definiti a lezione e portano al progetto di semplici circuiti esemplificativi.

### BIBLIOGRAFIA

J. Millman, A. Grabel, *Microelectronics*, McGraw-Hill, 1987.

## C 2605 Impianti chimici 2 + Ingegneria chimica ambientale (Corso integrato)

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 65 esercitazioni 52 (settimanali 5/4)

Prof. Agostino Gianetto (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Vengono illustrati i criteri necessari alla progettazione ed alla conduzione degli impianti dell'industria chimica, petrolchimica, biochimica, ecc., richiamando le conoscenze di ingegneria termotecnica, meccanica, chimica ed ecologica. Sono pure esaminati tutti i servizi ausiliari che costituiscono una parte finanziariamente e funzionalmente molto importante dell'impianto industriale. Si tende inoltre a mettere in evidenza la saldatura fra l'indagine teorica e la realizzazione pratica.

### REQUISITI

*Principi di ingegneria chimica 1 e 2, Termodinamica dell'ingegneria chimica, Macchine.*

### PROGRAMMA

*Impianti chimici 2.*

*Aspetti generali della progettazione:* criteri di scelta e di localizzazione di un impianto chimico; articolazione del progetto; elementi costitutivi di un impianto; aspetti economici.

*Regolazione degli impianti:* concetti generali; strumentazione.

*Servizi generali:* impianti di distribuzione dei fluidi; produzione e stoccaggio dei fluidi di servizio; risparmio energetico; condensatori; centrali di servizio; scarichi industriali; condizionamento e raffreddamento; applicazioni pratiche di criteri di sicurezza.

*Ingegneria chimica ambientale.*

*Impianti di trattamento degli effluenti industriali liquidi:* impianti principali.

*Impianti di trattamento degli effluenti industriali gassosi:* impianti principali; ciminiera; interventi a monte di riduzione dei carichi inquinanti.

*Impianti di smaltimento dei solidi:* incenerimento; letti di essiccamento; *compost*; discariche controllate.

### ESERCITAZIONI

Vengono condotti calcoli a più squadre su alcuni degli impianti considerati a lezione.

### BIBLIOGRAFIA

J. Perry, *Chemical engineering handbook*, McGraw-Hill, London, 6th ed., 1984.

G. Brown, *Unit operations*, Wiley, New York, 1951.

J.M. Coulson, J.F. Richardson, *Chemical engineering*, Pergamon, London, 1973.

J.R. Backharst, *Process plant design*, Heinemann, London, 1973.

## C 4030 Processi biologici industriali

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 28 (settimanali 4/2)

Prof. Giuseppe Genon (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di chiarire i concetti di base e successivamente illustrare i principali procedimenti industriali, i quali utilizzino microorganismi allo scopo di ottenere la produzione di composti chimici di base, alimenti, biomasse. In tal senso ad una prima parte di carattere generale concernente i meccanismi fondamentali fisici, chimici e biologici dell'ingegneria biochimica, ed i relativi modelli di interpretazione, segue una seconda parte più applicativa e tecnologica, volta ad illustrare dal punto di vista dello schema di processo le operazioni più importanti della microbiologia industriale e della tecnologia alimentare.

L'aspetto più impiantistico di tale tecnologia è trattato nel corso di *Impianti biochimici*, con cui risulta proficuo un abbinamento.

### PROGRAMMA

#### *Premesse di microbiologia.*

Caratteristiche dei microorganismi di interesse industriale, tipi, composizione, crescita, adattamento. Meccanismi di utilizzo energetico e di trasformazione metabolica.

#### *Ingegneria biochimica.*

Cinetica dei processi biologici, equazioni di reazione ed influenza di meccanismi di trasporto. Modello di bioreattore continuo. Richiesta di ossigeno, trasferimento con o senza agitazione meccanica, sistemi non convenzionali. Problemi di agitazione. Criteri di *scale-up*. Modalità di sterilizzazione termica, filtrazione dell'aria. Particolarità costruttive dei reattori biologici, strumentazione di controllo. Recupero dei prodotti, separazioni finali.

#### *Tecnologia microbiologica.*

Produzione di antibiotici. Produzione di biomasse proteiche. Etanolo da differenti substrati. Produzione di acidi organici (lattico, citrico, glutammico), di enzimi, di vitamine, di polisaccaridi. Tecnologia lattiero-casearia. Industria enologica, della birra, dell'acido tartarico. Cenni sull'industria olearia. Ossidazione biologica e digestione anaerobica.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni prevedono il dimensionamento di apparecchiature e la definizione dello schema di processo di tecnologie microbiologiche.

### BIBLIOGRAFIA

Buona parte degli argomenti si trova illustrata con maggior dettaglio nei testi seguenti, di cui si consiglia la consultazione:

S. Aiba, A.E. Humphrey, N.F. Millis, *Biochemical engineering*, 1973.

H.J. Rehm, G. Reed, *Biotechnology*, vol. 1 e vol. 3, 1983.

C. Cantarelli, *Principi di tecnologia delle industrie agrarie*, 1974.

È inoltre disponibile un testo riassuntivo di dispense:

G. Genon, *Processi biologici industriali*, CLUT, 1993.

## C 4060 Processi di trattamento degli effluenti inquinanti

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 28 (settimanali 4/2)

Docente da nominare (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si occupa dei processi e delle tecnologie usate per il trattamento degli effluenti aeriformi e dello smaltimento dei rifiuti solidi e dei fanghi. Lo sviluppo è pertanto indirizzato agli aspetti processistici ed impiantistici sia costruttivi che gestionali, tenendo conto dei criteri di scelta fra le varie possibili opzioni di trattamento. È pure considerata la possibilità di inquinamento secondario in altri comparti ambientali derivante dalle operazioni di depurazione, nonché le implicanze economiche connesse con le tecnologie di trattamento.

### PROGRAMMA

#### *Inquinamento dell'aria.*

Aspetti legislativi; principali tipi di inquinanti gassosi e particolati; microinquinanti organici clorurati; loro effetto sull'ecosistema e sull'uomo.

Inquinamento atmosferico negli ambienti di lavoro; inquinamento da odori e tecnologie di intervento.

Trattamento degli inquinanti gassosi: assorbimento; adsorbimento; condensazione; incenerimento a fiamma diretta, termico e catalitico.

Tecnologie specifiche per gli ossidi di solfo e di azoto.

Impianti di abbattimento dei particolati: separatori meccanici a secco (camere di sedimentazione; separatori inerziali, ad urto e dinamici; cicloni tangenziali ed assiali); filtri a maniche; lavatori ad urto, a ciclone, a letto a riempimento, a fessura ed a piatti forati; lavatori a Venturi e ad azione centrifuga; separatori elettrostatici. Esplosibilità delle polveri: aspetti di sicurezza.

Predisposizione di atmosfere sterili: filtri assoluti.

Dispersione di inquinanti in atmosfera: aspetti modellistici ed impiantistici; progetto dei camini.

#### *Smaltimento dei rifiuti solidi.*

Aspetti legislativi.

Rifiuti solidi urbani: raccolta; discarica controllata e produzione di biogas; compressione; pirolisi; incenerimento; compostaggio; recupero e valorizzazione; produzione di RDF.

Rifiuti industriali: caratterizzazione; impatto ambientale; processi di smaltimento (termici, fisici, chimici) e di valorizzazione e recupero. Tecnologie di recupero dei terreni contaminati da spandimenti di sostanze inquinanti.

ESERCITAZIONI. Saranno illustrati esempi di dimensionamento di impianti.

### BIBLIOGRAFIA

R.D. Ross, *Air pollution and industry*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.

## C 0590 Catalisi industriale

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 90 (settimanali 6)

Prof. Antonio Iannibello (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Preparazione e caratterizzazione dei catalizzatori; *engineering* della reazione catalizzata; applicazioni industriali importanti.

### PROGRAMMA

Definizione di catalisi, classificazione dei sistemi catalitici.

La catalisi eterogenea: meccanismi di catalisi di contatto.

Termodinamica delle interazioni di superficie: l'adsorbimento fisico-chimico.

Cinetiche di reazioni chimiche in catalisi eterogenea.

Il catalizzatore solido: preparazione e caratterizzazione chimico-fisica; funzionalità catalitica ed eterogeneità superficiale.

Misura dell'attività catalitica: reattori da laboratorio.

Criteri di scelta del reattore nelle operazioni su scala industriale.

Processi continui e discontinui.

Reazioni semplici e reazioni complesse.

Confronto delle prestazioni di tipi differenti di reattori.

Processi catalitici industriali: *cracking, reforming, hydrotreating*, ossidazione parziale, sintesi del metanolo, processo Wacker.

La catalisi nei processi di combustione: il controllo delle emissioni nocive da fonti stazionarie / mobili.

### BIBLIOGRAFIA

Appunti delle lezioni.

J.F. Le Page, *Applied heterogeneous catalysis*, Technip, Paris, 1987.

C.N. Satterfield, *Heterogeneous catalysis in industrial practice*, McGraw-Hill, New York, 1991.

Bruce C. Gates, *Catalytic chemistry*, Wiley, New York, 1992.

## C 0910 Corrosione e protezione dei materiali metallici

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 14 (settimanali 5/1)

Prof. Mario Maja (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha lo scopo di fornire agli allievi le basi necessarie per discutere i processi di deterioramento dei materiali metallici provocati dalla corrosione e per scegliere i metodi di protezione e di prevenzione più idonei. Nel corso viene trattata la corrosione ad umido, la corrosione a secco e la corrosione per correnti impresse e vengono discussi i criteri di scelta dei materiali metallici ed i metodi di protezione.

REQUISITI. *Chimica, Metallurgia.*

### PROGRAMMA

Introduzione. Principi fondamentali di elettrochimica.

Corrosione ad umido. Reazioni caratteristiche, fattori di localizzazione, velocità di corrosione, vari tipi di corrosione.

Prove di corrosione. Tipi di prove, apparecchiature di controllo e di studio dei fenomeni di corrosione.

Materiali e ambiente. Comportamento dei metalli in ambienti diversi.

Prevenzione contro la corrosione. Criteri di progettazione, protezione catodica, rivestimenti e vernici.

Correnti vaganti.

Corrosione a secco.

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni riguardano la discussione, anche mediante alcune videocassette della NACE, dei principali casi di corrosione.

# C 1700 Elettrometallurgia

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 28 (settimanali 4/2)

Prof. Bruno De Benedetti (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha lo scopo di fornire i principi impiantistici delle varie tecnologie metallurgiche che utilizzano elettricità come fonte energetica primaria. In tale ambito si porrà particolarmente l'accento sulle problematiche relative alla conduzione degli impianti.

Il corso si rivolge a studenti con sufficiente preparazione di base nell'ambito della metallurgia di processo e dell'elettrotecnica.

## PROGRAMMA

1. Trasformazione dell'energia elettrica in calore (per resistenza, per arco, per induzione) e relativo trasferimento alla carica metallica dei forni. Classificazione dei principali tipi di forni metallurgici.
2. Acciaieria elettrica: descrizione dei flussi energetici e di materiale. Potenza attiva e reattiva, diagramma circolare del forno elettrico. Condizioni di marcia dei forni ad arco: fusione della carica, scorifica, affinazione, colata. Metallurgia in siviera con e senza apporto di energia, trattamenti sotto vuoto ed in gas inerte. Colata in lingottiera. Colata continua. *Stirring* elettromagnetico in siviera e in colata continua. Rifusione dei lingotti: in forno ad arco sotto vuoto o sotto scoria elettroconduttrice.
3. Impiego dei principali forni elettrici ad induzione in fonderia. Ghisa: fusione di rottame, omogeneizzazione delle leghe provenienti dal cubilotto.
4. Forni elettrolitici per la produzione di alluminio primario. Confronto energetico col ciclo di raffinazione dei rottami.
- 5; Rassegna di processi particolari di interesse elettrometallurgico con particolare riguardo a: saldatura; processi a corrente costante e tensione costante, applicazioni alla saldatura dei principali materiali di interesse ingegneristico. Trattamenti termomeccanici utilizzando il riscaldamento induttivo.

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni integrano le lezioni fornendo approfondimenti relativi al dimensionamento ed alla verifica dei principali tipi di impianto.

## BIBLIOGRAFIA

L. Di Stati, *Forni elettrici*, Patron, Bologna, 1976.

J.H. Brunklaus, *I forni industriali*, Tecniche ET, Milano, 1985.

H.B. Cary, *Modern welding technology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1979.

## C 2590 Impianti biochimici

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 26 (settimanali 4/2)

Prof. Bernardo Ruggeri (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di fornire informazioni per la progettazione e lo sviluppo degli impianti che utilizzano materiale biologico per produrre composti chimici di base, farmaceutici, alimentari e per contribuire al controllo dell'inquinamento ambientale. Sono esaminati aspetti reattoristici ed impiantistici delle biotecnologie; in tal senso il corso è complementare a quello di *Processi biologici industriali* ed indispensabile per un completo approccio alle problematiche ingegneristiche del settore.

REQUISITI. *Principi di ingegneria chimica 1 e 2, Impianti chimici 1 e 2.*

### PROGRAMMA

*a) Introduzione e richiami alle necessarie conoscenze biochimiche.*

Conservazione e stabilità delle colture biotecnologiche, modificazione genetica ad usi industriali, cinetiche enzimatiche e di crescita della biomassa, colture miste e substrati complessi.

*b) Reattori ed impianti biochimici in generale.*

Fenomeni di trasporto e reologici nei reattori biochimici, bilanci di massa ed energetici, reattori non ideali, reattori agitati meccanicamente e sistemi non meccanici, reattori a biomassa libera, reattori a biomassa immobilizzata: fissa e fluidizzata, reattori a membrana, impianti aerobici ed anaerobici, tecniche di immobilizzazione di microrganismi ed enzimi, conseguenze sulla cinetica di trasformazione, progetto e costruzione dei fermentatori.

*Scale-up*, strumenti e tecniche di misura e controllo.

Sterilizzazione degli impianti e dei fluidi.

*c) Trattamenti ed impianti di recupero dei cataboliti.*

Centrifugazione e filtrazione, ultrafiltrazione, estrazione liquido-liquido, scambio ionico, distillazione, osmosi inversa.

### BIBLIOGRAFIA

Bailey, Ollis, *Biochemical engineering fundamentals*, McGraw-Hill, 1986.

M.M. Young, *Comprehensive biotechnology. Vol. 2, Engineering considerations*, Pergamon, 1985.

Ghester, Oldshue, *Biotechnology processes: scale-up and mixing*, Am. Inst. Chem. Engineers, 1987.

## C 2610    **Impianti chimici e processi dell'industria alimentare**

Anno:periodo 5:2    Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 52 (settimanali 4/4)

*Docente da nominare* (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso prende in esame alcune delle tecnologie dell'industria agroalimentare, evidenziando per i diversi processi le fasi riconducibili ad operazioni unitarie dell'ingegneria chimica, fornendo elementi di progettazione dei relativi impianti ed illustrando la problematica connessa con la realizzazione e la gestione degli impianti nel loro insieme.

In particolare vengono trattati processi ed impianti per:

- industria enologica (produzione di vini bianchi e rossi, spumantizzazione con metodi *champenois* e Charmat, correzione dei difetti dei vini, distillazione delle vinacce, recupero dei tartrati, recupero dei vinaccioli);
- industria della birra;
- industria olearia (produzione degli oli di oliva e di semi per pressione e per estrazione con solventi, impianti per la raffinazione degli oli e per il recupero delle lectine);
- industria lattiero-casearia (produzione, pastorizzazione, sterilizzazione del latte, impianti per la produzione di latte condensato in polvere, produzione di formaggi e gelati);
- industria conserviera (produzione di succhi di frutta limpidi e torbidi, liofilizzazione, surgelazione e sterilizzazione).

### ESERCITAZIONI

Progetto di massima di un impianto e studio della sua disposizione.

## C 2660 Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 56 (settimanali 4/4)

Prof. Vito Specchia (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si occupa dei processi e delle tecnologie usate per il trattamento degli effluenti liquidi. Lo sviluppo è pertanto indirizzato agli aspetti processistici ed impiantistici sia costruttivi che gestionali, tenendo conto dei criteri di scelta fra le varie possibili opzioni di trattamento. È pure considerata la possibilità di inquinamento secondario in altri comparti ambientali derivante dalle operazioni di depurazione, nonché le implicanze economiche connesse con le tecnologie di trattamento.

### PROGRAMMA

*Inquinamento delle acque:* aspetti legislativi; principali tipi di inquinanti; qualità dei reflui trattati; classificazione dei corpi idrici ricettori in relazione al loro uso; deossigenazione e riossigenazione di un corpo idrico; eutrofizzazione.

*Riduzione dei consumi idrici:* alimentazione in serie alle utenze; ricircolo; epicresi.

*Tipi di acque primarie;* acqua come vettore di energia; condizionamenti per le acque di alimento caldaie.

*Trattamenti fisici:* grigliatura; dissabbiatura; sollevamento; rimozione di oli e sostanze grasse; flottazione; equalizzazione; polmonazione; sedimentazione.

*Trattamenti chimico-fisici:* coagulazione-flocculazione; neutralizzazione; ossidazione; riduzione; scambio ionico; adsorbimento.

*Dissalazione di acque salmastre:* evaporazione *multiflash*; elettrodialisi; osmosi inversa; distillazione con energia solare.

*Trattamenti biologici aerobici ed anaerobici:* processi a biomassa sospesa e fissata; ossidazione del carico organico; nitrificazione; denitrificazione; eliminazione del fosforo; digestione anaerobica.

*Filtrazione* con letti a sabbia e con membrane.

*Sterilizzazione finale:* clorazione; trattamento con ozono.

*Trattamenti dei fanghi di supero:* ispessimento; stabilizzazione; riscaldamento ossidativo; disidratazione; incenerimento.

Tecnologie di potabilizzazione delle acque superficiali e dei reflui civili trattati.

**ESERCITAZIONI.** Saranno illustrati esempi di dimensionamento di impianti.

### BIBLIOGRAFIA

H.S. Azad, *Industrial pollution control handbook*, McGraw-Hill, New York, 1971.

L. Masotti, *Depurazione delle acque: tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto*, Calderini, Bologna, 1987.

## C 3430 Metallurgia fisica

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 24 laboratori 6 (settimanali 5/2)

Prof. Bruno De Benedetti (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Si tratta di una disciplina, didatticamente autonoma, propedeutica fondamentale per l'indirizzo metallurgico del corso di laurea in *Ingegneria chimica* e per l'indirizzo metallurgico del corso di laurea in *Ingegneria meccanica*.

Tratta di struttura, proprietà, comportamento fisico-meccanico dei metalli, argomento appena sfiorati nei due corsi paralleli a carattere tecnologico e strettamente applicativo di *Tecnologia dei materiali metallici* e di *Metallurgia*.

**REQUISITI.** Le nozioni propedeutiche impartite nel corso di *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*.

### PROGRAMMA

Struttura cristallina dei metalli; principali tipi di reticolo cristallino; natura del legame metallico. Difetti nei metalli: vacanze, dislocazioni, bordi di grano, difetti di impilamento.

Leghe metalliche; soluzioni solide sostituzionali e interstiziali; fasi di Hume-Rothery e di Laves; soluzioni solide ordinate. Richiami di termodinamica delle leghe metalliche e diagrammi di stato binari.

Solidificazione dei metalli; fenomeni di nucleazione e crescita; solidificazione dendritica; fenomeni di segregazione; omogeneizzazione. Ricottura dei materiali metallici deformati a freddo: *recovery*, ricristallizzazione, crescita dei grani, ricristallizzazione secondaria. Fenomeni di indurimento per precipitazione: solubilizzazione, invecchiamento, nucleazione e crescita dei precipitati.

Diffusione nelle soluzioni solide sostituzionali; prima e seconda legge di Fick; prima e seconda legge di Darken; determinazione dei coefficienti di diffusione; autodiffusione nei metalli puri; diffusione interstiziale.

Deformazione con geminazione; nucleazione e crescita dei geminati.

Trasformazioni martensitiche; influenza delle sollecitazioni meccaniche sulla stabilità della martensite; trasformazioni bainitiche e perlitiche.

Frattura: nucleazione e propagazione della frattura; frattura intercristallina e transcristallina; resistenza all'impatto; frattura duttile; fragilità e rinvenimento; rotture a fatica.

Deformazioni plastiche e temperature elevate per scorrimento sotto carichi costanti.

### ESERCITAZIONI

Calcoli roentgenografici: scelta dell'anticatodo; calcolo delle costanti reticolari; indicizzazione di un diffrattogramma; calcolo dei coefficienti di diffusione.

**LABORATORI.** Partecipazione a misure diffrattometriche su apparecchiature a goniometro verticale e orizzontale.

### BIBLIOGRAFIA

R.E. Reed, *Physical metallurgy principles*, Van Nostrand, New York, 1977.

P. Brozzi, *Struttura e proprietà meccaniche dei materiali metallici*, ECIG, Genova, 1979.

## C 4050 Processi di produzione di materiali macromolecolari

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni e laboratori 15 (settimanali 6, complessive)

Prof. Giuseppe Gozzelino (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di fornire un quadro generale sui principali tipi di polimeri sintetici, sulle loro caratteristiche e impieghi. Nella prima parte vengono trattati i concetti generali della chimica macromolecolare e la loro applicazione alla sintesi di polimeri industriali. Nella seconda parte sono discusse le principali proprietà fisiche e tecnologiche dei polimeri considerate da un punto di vista generale, nonché le tecnologie di trasformazione impiegate nei più importanti settori applicativi quali le materie plastiche, gli elastomeri, i polimeri termo-indurenti.

Il corso si svolgerà con lezioni, laboratori, visite di istruzione.

**REQUISITI.** *Chimica organica, Tecnologia dei materiali e chimica applicata, Termodinamica dell'ingegneria chimica, Chimica industriale.*

### PROGRAMMA

Concetti generali: tipi di polimeri e loro struttura: principali settori applicativi.

Esame dei fattori che determinano le proprietà dei polimeri; peso molecolare e distribuzione dei pesi molecolari; forze di coesione intermolecolari: densità di energia coesiva; regolarità della struttura: stereoregolarità: flessibilità della catena polimerica. Morfologia dei polimeri amorfi; struttura dei polimeri cristallini.

Aspetti generali delle reazioni di polimerizzazione: reazioni di policondensazione; reazioni di poliaddizione radicalica e di copolimerizzazione; reazioni di poliaddizione cationica, anionica e coordinata. Principali polimeri di interesse industriale: sintesi, proprietà, impieghi.

Proprietà dei polimeri in massa: proprietà termiche dei polimeri amorfi e cristallini. Stato vetroso e stato gommoso. Proprietà meccaniche: curve sforzo-allungamento. Elasticità della gomma. Reologia dei polimeri fusi. Viscoelasticità dei materiali polimerici.

Tecnologie di trasformazione: polimeri termoplastici: stampaggio per iniezione, estrusione e altre tecnologie. Polimeri termoindurenti: tipi di resine e tecnologie di stampaggio. Tecnologie degli elastomeri. Polimeri per vernici ed adesivi: tecnologie di impiego.

Materiali polimerici espansi e materiali compositi.

Impiego dei materiali polimerici nell'industria chimica.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI

Esercitazioni sperimentali su alcune reazioni di polimerizzazione e sulla caratterizzazione di polimeri. Visite ad impianti di trasformazione delle materie plastiche e gomme.

### BIBLIOGRAFIA

F.W. Billmeyer, *Textbook of polymer science*, Wiley Interscience, New York, 1971.

F. Rodriguez, *Principles of polymer systems*, McGraw-Hill, New York, 1982.

*Scienza e tecnologia delle macromolecole, a cura dell'AIR. Vol. 1*, Pacini, Pisa, 1983.

## C 4070 Processi elettrochimici

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 72 (settimanali 6)

Prof. Paolo Spinelli (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Scopo del corso è quello di fornire le conoscenze di base dell'industria elettrochimica mediante l'esame di alcuni processi fondamentali. Vengono anche fornite alcune notizie sugli impianti, in relazione a problematiche tipiche dell'ingegneria elettrochimica.

### REQUISITI

Il corso presuppone la conoscenza dei *Principi di ingegneria chimica* e dell'*Elettrochimica*.

### PROGRAMMA

La parte introduttiva si occupa delle caratteristiche generali degli elettrodi, dei diaframmi, del circuito di elettrolisi, fornendo anche notizie generali sul costo e sulla sicurezza dei processi elettrochimici.

Vengono poi descritte le tecnologie di produzione di idrogeno e ossigeno, di cloro e soda caustica, ipocloriti e clorati e di altri processi industrialmente significativi.

Vengono descritti i principali processi elettrochimico-metallurgici sia di estrazione che di raffinazione.

Vengono esposti i principi della galvanotecnica.

Vengono infine trattati i processi in sale fuso, con particolare riferimento alla produzione di alluminio e sodio.

Un'ultima parte del corso riguarda la descrizione dei più importanti generatori elettrochimici.

### BIBLIOGRAFIA

P. Gallone, *Trattato di ingegneria elettrochimica*, Tamburini, Milano, 1973.

## C 4080 Processi industriali della chimica fine

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 64 laboratori 14 (settimanali 6)

Prof. Franco Ferrero (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha per oggetto l'approfondimento di argomenti specialistici della chimica industriale organica. Data la vastità ed eterogeneità dei processi della chimica fine, gli argomenti scelti sono stati raggruppati in tre tematiche di base (chimica dei processi interfase, polimeri per usi speciali, chimica del colore e fotochimica) che consentono una trattazione non frammentaria e non puramente descrittiva dei vari argomenti.

### PROGRAMMA

*Chimica dei processi interfase.*

Cenni sui fenomeni superficiali. Comportamento delle sostanze tensioattive: attività inibente, detergente, emulsionante, schiumogena, lubrificante.

Fenomeni di adesione. Catalisi in trasferimento di fase.

Processi di produzione di tensioattivi, detergenti, emulsionanti, lubrificanti, adesivi.

*Polimeri per usi speciali.*

Fibre chimiche; relazioni struttura-proprietà; processi di preparazione e filatura.

Fibre tecniche. Tessuti non tessuti. *Film*.

Resine per usi tessili e per vernici. Additivi per polimeri.

Polielettroliti. Sequestranti. Scambiatori di ioni.

*Chimica del colore e fotochimica*.

Colorimetria industriale; relazioni tra colore e struttura molecolare; sbiancanti ottici.

Coloranti: proprietà, classificazione, processi di produzione.

Pigmenti. Inchiostri. Coloranti per alimenti. Prodotti fotosensibili.

Processi tintoriali. Stampa tessile e grafica.

Processi fotografici e di fotoriproduzione. Processi fotochimici.

#### ESERCITAZIONI

Si prevedono alcune esercitazioni di laboratorio concernenti la preparazione e caratterizzazione di prodotti speciali.

#### BIBLIOGRAFIA

G.T. Austin, *Shreve's chemical process industries*, 5th ed., McGraw-Hill, 1984.

H. Zollinger, *Color chemistry*, VCH, 1987.

## C 4170 Progettazione di apparecchiature dell'industria chimica

Anno/periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 39 esercitazioni 52 (settimanali 3/4)

Prof. Giorgio Rovero (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di illustrare lo sviluppo di un progetto per la realizzazione di un processo chimico a partire dall'idea iniziale alla emissione degli elaborati e dei documenti tipici delle varie fasi intermedie e finali.

La suddivisione delle varie funzioni del *management* è illustrata al fine di giustificare la distribuzione dei compiti delle figure professionali coinvolte con diversi livelli di esperienza e responsabilità. Ottimizzazione della conduzione del progetto mediante PERT.

Sono valutate in successione le fasi che precisano e sviluppano progressivamente la definizione del progetto fino alla ingegneria di dettaglio ed ancora, come appendice, il preavviamento e la messa in marcia dell'impianto. Cenni agli studi di operabilità e di sicurezza vengono sviluppati come verifica e messa a punto dei sistemi di controllo installati sulle singole apparecchiature interconnesse nella realizzazione del processo chimico.

**REQUISITI.** Oltre agli insegnamenti di base, si intendono propedeutiche le nozioni impartite in *Impianti chimici 1 e 2*.

#### PROGRAMMA

*Management* di un progetto.

Studio di fattibilità.

Pianificazione di un progetto e valutazione economica.

Esecuzione e coordinamento attività per le varie figure coinvolte.

Valutazioni retroattive nella definizione di un progetto.

Scelta ed utilizzo di vari *standards* di progettazione.

Progettazione concettuale, progettazione del processo e progettazione di base.

Preparazione ed emissione di bilanci di materia, bilanci di energia e schemi di flusso semplificati (PDF).

Preparazione ed emissione di fogli specifica e diagrammi di flusso e controllo (P&ID) a vari livelli di definizione.

Preparazione dei *plot plan*, degli unifilari elettrici, delle logiche di controllo e di sicurezza, dei manuali operativi, classificazione delle aree, ecc..

Pre-avviamento e messa in marcia degli impianti.

Revisioni di sicurezza e verifica dell'operabilità.

Procedure per certificazione ISPELS.

## ESERCITAZIONI

Viene sviluppata in termini completi, come esemplificazione dei concetti presentati a lezione, un'esercitazione monografica di progettazione concettuale e di base per un impianto chimico semplificato con presentazione di elaborati utilizzabili per la progettazione di dettaglio. Utilizzo di programmi per definizione del PERT e progettazione con AutoCAD.

## BIBLIOGRAFIA

SNAMprogetti, *Guida alla progettazione degli impianti petrolchimici e di raffinazione*, Pirola, Milano, 1975.

H.F. Rase, M.H. Barrow, *Project engineering of process plants*, Univ. of Texas & Foster Wheeler.

Capra, *Aspetti organizzativi di un progetto : procedura operativa*, 1992.

Zerboni, *Fasi della realizzazione degli impianti chimici*, 1990.

Hed, *Project control manual*, 1985.

## C 4638    **Scienza e tecnologia dei materiali ceramici**

Anno: periodo 5:2    Impegno (ore): lezioni 78 (settimanali 6)

Prof. Ignazio Amato (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso intende fornire agli studenti interessati all'ingegneria dei materiali una adeguata conoscenza delle caratteristiche, della produzione e dell'uso dei materiali ceramici d'impiego industriale.

**REQUISITI.** *Chimica, Tecnologia dei materiali e chimica applicata.*

### PROGRAMMA

I solidi: fondamenti teorici. L'ordine nei solidi. Proprietà e struttura cristallina. Solidi duttili e solidi fragili. Le proprietà meccaniche dei solidi e la tenacità alla frattura. Solidi policristallini ed analisi ceramografica.

I difetti nei solidi e la diffusione. La densificazione per sinterizzazione. La teoria della sinterizzazione. Le proprietà dei solidi sottoposti a sinterizzazione: la superficie specifica. Le caratteristiche dei sinterizzati: la porosità aperta e chiusa, la dimensione dei pori. L'influenza di gas occlusi nei pori e la regressione della densità. Sinterizzazione a più componenti solidi. Sinterizzazione in sistemi solido-liquido. Densificazione per pressatura a caldo.

I materiali ceramici ordinari: materie prime e processi di fabbricazione.

I refrattari ordinari e speciali: caratteristiche e modalità di impiego.

Ceramici fini: caratteristiche, impieghi attuali. I ceramici fini e lo sviluppo delle nuove tecnologie. Le polveri neoceramiche; caratteristiche. Sintesi da soluzioni: sol-gel, combustione solvente. Sintesi in fase vapore: condensazione (aerosol) reazione, (plasma, laser).

Ceramici strutturali: il nitruro ed il carburo di silicio. Allumina e zirconia tenacizzata. Boruri e siliciuri. Criteri di progettazione e prova. Impieghi reali e potenziali.

Ceramici per rivestimento: criteri di progettazione. Le tecniche: CVD, PVD, *sputtering*, implantazione ionica, plasma. Caratteristiche dei materiali rivestiti.

I materiali vetrosi ed i vetro-ceramici; caratteristiche ed applicazioni.

I materiali fibrosi di rinforzo. Meccanismo di azione dei rinforzi nei materiali compositi. Le fibre di vetro, le fibre di carbonio, le fibre ceramiche. Gli *wiskers*: proprietà e tecnologie. Criteri di progettazione e modalità di impiego dei compositi.

I ceramici come utensili da taglio: meccanismi di degradazione e di usura. I carburi cementati. I rivestimenti ceramici dei carburi cementati. Utensili ceramici di nuova generazione. Utensili superduri. Il nitruro di boro. Gli abrasivi.

I ceramici come lubrificanti solidi: grafite, solfuri.

I componenti neoceramici per l'industria meccanica, dei trasporti, aeronautica e spaziale, chimica; impatto economico ed avanzamento tecnologico.

### BIBLIOGRAFIA

A. Aliprandi, *Principi di ceramurgia e tecnologia ceramica.*

A. Holden, *La fisica dei solidi.*

G.C. Kuczynski, *Sintering and related phenomena.*

J.E. Burke, *Progress in ceramic science. Vol. 3.*

R. Sersale, *I materiali ceramici ordinari e speciali.*

P.W. McMillan, *Glass-ceramics.*

J.S. Reed, *Introduction to the principles of ceramic processing.*

## C 5440    Tecnica della sicurezza ambientale

Anno:periodo 5:2    Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 25 (settimanali 5/2)

Prof. Norberto Piccinini (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Nel quadro dell'ampio significato dei termini "rischio" e "sicurezza", il corso intende fornire gli strumenti per individuare le pericolosità nelle varie attività e definire procedimenti, tecnici od organizzativi, per raggiungere obiettivi di sicurezza. Il corso intende inoltre trasferire le valutazioni dei rischi in processi decisionali per una corretta progettazione e per una attenta gestione di rischi imprenditoriali od ambientali.

### PROGRAMMA

1. Incidenti e rischi nelle attività umane. Evoluzione dei concetti di "rischio" e "sicurezza". Scale e parametri per valutazioni di "tollerabilità dei rischi". Le valutazioni di impatto ambientale. *Environmental audits*.
2. Pericolosità di prodotti ed operazioni industriali. Tossicità delle sostanze chimiche. Reazioni di combustione ed esplosive. Elementi di protezione contro gli incendi. Rischi legati all'uso dell'energia elettrica.
3. Metodi di studio dei rischi nelle attività antropiche. Metodi basati sul giudizio ingegneristico (indici di rischio, *safety audits, check list*). Anche dati incidenti. Valutazioni probabilistiche dei rischi:
  - Metodi per l'individuazione delle pericolosità di origine interna agli impianti (analisi di operabilità, *Hazop*, analisi dei guasti e loro effetti – FMEA).
  - Valutazione della risposta di un impianto al verificarsi di un guasto per mezzo di alberi logici e decisionali (diagramma delle sequenze incidentali, albero degli eventi, albero dei guasti, diagramma logico cause–conseguenze).
  - Stima della frequenza di eventi incidentali (risoluzione di alberi logici).
  - Analisi di sequenze incidentali di tipo dinamico.
4. Principi e metodi dell'affidabilità tecnologica. Affidabilità di un componente, di sistemi operativi (in serie o in parallelo, a logica maggioritaria), di sistemi in attesa di intervento. Anche dati affidabilità. Analisi di sistemi tramite catene di Markov.
5. Valutazione degli errori umani.

### ESERCITAZIONI

Costituzione di un prototipo di Banca Dati Incidenti e Analisi Pericolosità.

Applicazioni delle differenti metodologie di analisi dei rischi.

Elaborazione di una specifica per l'omologazione di un prototipo.

Analisi delle relazioni cause–effetti su un componente di macchina uscito di servizio.

Relazione dettagliata su un tema ambientale o di sicurezza di interesse dell'allievo.

### BIBLIOGRAFIA

*Norme per la prevenzione degli infortuni.*

N. Piccinini, *Affidabilità e sicurezza nell'industria chimica*, SCCFQIM, Barcellona, 1985.

S. Messina, N. Piccinini, G. Zappellini, *Valutazione probabilistica di rischio*, 3ASI. D.

A. Crowl, J.F. Louvar, *Chemical process safety*, Prentice Hall, 1990.

## C 5700 Tecnologie industriali

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 50 esercitazioni 50 (settimanali 4/4)

Prof. Francantonio Testore (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di studiare i principali processi tecnologici in cui si articola la trasformazione delle fibre e dei fili in tessuto finito, i cicli di lavorazione e le condizioni ambientali per il loro razionale svolgimento, e di mettere i giovani futuri ingegneri a contatto con la realtà industriale per mezzo di visite a stabilimenti e laboratori e di esercitazioni su problemi pratici.

### PROGRAMMA

L'insegnamento si divide in tre parti principali, concernenti a grandissime linee la formazione del filato, la formazione di superfici tessili piane, la nobilitazione dei filati e dei tessuti. Di ciascuna parte vengono illustrate le esigenze di carattere tecnologico che influenzano la progettazione, il *layout*, le condizioni ambientali.

#### *Formazione del filato.*

Classificazione delle fibre. Tecnologia della cardatura, della pettinatura, della filatura. Ciclo cardato e pettinato per fibre a taglio laniero e a taglio cotoniero. Trattamenti tessili ai cavi di filatura chimica (*tow*) e di fili continui artificiali sintetici (torcitura, testurizzazione ecc.).

#### *Tecnologia generale di tessitura.*

Preparazione dell'ordito. Principali tipi di telai, tessuti a trama e catena, a maglia, non tessuti.

Rifinitone, classificazione e scopi delle principali operazioni. Finissaggio dei tessuti lanieri, cotonieri, di fili sintetici. Tintura e stampa, cenni sulle fasi del ciclo e sulle principali macchine.

Controlli tecnologici, illustrazione delle prove più importanti (scopi, metodologia, apparecchiature ecc.) che si compiono su fibre, fili e filati, tessuti.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni alternano visite e prove sperimentali, presso aziende tessili e meccano-tessili e presso laboratori pubblici e privati, alla elaborazione presso il Politecnico dei risultati sperimentali e nella discussione delle relazioni compilate con dati raccolti.

### BIBLIOGRAFIA

F. Testore, *Tecnologia della filatura*, Elsa, 1975.

F. Testore, *New Deal nel meccano-tessile*, Publi-Edi, Milano, 1980.

*Manuale di tecnologia tessile*, Cremonesi, Roma, 1981.

Bollettini dell'International Textile Service, Zurigo.

*Journal of Textile Institute*, Manchester.

F. Testore, *Nel segno dell'ITMA 83*, Publi-Edi, Milano, 1984.

*Textile Horizons*, Manchester.

F. Testore, *Quo Vadis, Mecatronic ITMA 87*, Publi-Edi., Milano, 1988.

## C 5710 Tecnologie metallurgiche

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 25 laboratori 15 (settimanali 5/3)

Prof. Mario ROSSO (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha come scopo lo studio comparativo dei processi e delle tecnologie di formatura e di giunzione dei particolari metallici. In particolare vengono studiati e confrontati i processi di deformazione plastica, fonderia e metallurgia delle polveri.

Dopo aver approfondito i principi fondamentali su cui si basano le tre tecnologie, vengono esaminati i processi e gli impianti utilizzati, i rispettivi settori di applicazione ed i materiali metallici, compresi i compositi a matrice metallica, idonei ai singoli processi. Infine sono trattate le tecniche di giunzione.

Uno stretto contatto con le realtà industriali più significative, esplicantesi anche con visite appositamente programmate, fornisce un contenuto pratico al corso e favorisce un migliore aggiornamento su evoluzione e innovazione tecnologica. Sono previste lezioni, esercitazioni, laboratori e visite ad industrie.

### PROGRAMMA

#### *Deformazione plastica.*

Richiami alla teoria della plasticità ed ai meccanismi di formatura. Caratteristiche di formabilità delle leghe metalliche. Fenomeni di attrito e lubrificazione. Fucinatura e stampaggio. Laminazione. Estrusione. Trafilatura. Imbutitura.

#### *Fonderia.*

Richiami ai principali della solidificazione. Impianti per la fusione industriale di metalli e leghe. Modelli, anime e forme. Analisi dei diversi processi di formatura e di colata. Controllo e finitura dei getti. Vantaggi dei processi di fonderia.

#### *Metallurgia delle polveri.*

Produzione e caratterizzazione delle polveri. Miscelazione e compattazione, relativi impianti. Forme limite. Analisi del processo di sinterizzazione, sinterizzazione attivata. Forni e atmosfere di sinterizzazione. Lavorazioni complementari. Controllo, finitura e applicazioni dei sinterizzati. Confronto tra le differenti alternative tecnologiche e criteri di scelta. Ottimizzazione tecnico-economica ed indici di costo.

#### *Tecniche di giunzione.*

Concetto di saldabilità e metallurgia della saldatura. Saldatura ad arco, a scoria conduttrice, a resistenza, a frizione, a gas, a laser e a plasma. Brasatura.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI

Vengono sviluppati esempi applicativi e di calcolo sugli argomenti oggetto delle lezioni. Le prove in laboratorio riguarderanno le caratteristiche di formabilità e microstrutturali dei materiali assoggettati alle diverse tecnologie.

### BIBLIOGRAFIA

Appunti del corso.

G. Dieter, *Mechanical metallurgy*, McGraw-Hill, Tokyo, 1988.

G. Mazzoleni, *Tecnologia dei metalli*, 3 vol., UTET, Torino, 1980.

E. Mosca, *Metallurgia delle polveri*, AMMA, Torino, 1983.

Corso di laurea in

# Ingegneria dei materiali

## 1 Profilo Professionale

Il corso di laurea in *Ingegneria dei materiali* è quello di più recente attivazione presso il Politecnico di Torino ed è sorto per consentire di soddisfare crescenti richieste provenienti dal mondo industriale delle tecnologie avanzate, con particolare riferimento a quello operante nell'Italia nord-occidentale. Le motivazioni sono di carattere generale e specifico.

Fra le prime deve essere annoverata la constatazione che gli ultimi decenni hanno visto uno straordinario aumento nel numero dei materiali di nuova concezione resisi disponibili per le più svariate applicazioni tecnologiche e un netto miglioramento generale delle conoscenze, e quindi delle caratteristiche di impiego, di quelli affermatasi in tempi più lontani.

La scelta del materiale per la soluzione di un determinato problema è ora più ampia che non nel passato e spesso si assiste ad una vera e propria competizione fra materiali, o combinazioni di materiali, assai dissimili tra di loro. Scelta più ampia, ma anche più difficile, che può essere adeguatamente sfruttata solo in presenza di un quadro di conoscenze non riscontrabile in alcuno degli indirizzi dei corsi di laurea in ingegneria del Politecnico di Torino. Questi ultimi formano infatti, nei diversi campi, tecnici utilizza-

tori di materiali che, per le crescenti necessità di specializzazione e il dilatarsi dello scibile nei settori specifici, non possono però che ricevere informazioni non approfondite su di essi.

Occorre invece che l'ingegnere dei materiali sia in grado di garantire una adeguata competenza ingegneristica e tecnologica non solo per la scelta e la realizzazione di materiali estremamente affidabili in condizioni di impiego molto severe, ottenuti eventualmente con tecnologie appositamente concepite, ma anche per consentire la messa a punto di nuovi materiali e l'estensione dei campi di applicazione di quelli noti. Nella sua attività dovrebbe inoltre aver presenti le implicanze di carattere economico, sociale, ecologico, quali la disponibilità delle materie prime, gli apporti energetici necessari per la loro trasformazione, i riflessi sull'ambiente della loro produzione e utilizzazione e del loro smaltimento, gli aspetti relativi alla sicurezza, ecc.

La formazione di personale idoneo ad affrontare le problematiche connesse con la utilizzazione e la produzione dei materiali non può che afferire alle Facoltà di ingegneria, essendo indispensabile una solida mentalità ingegneristica non solo per gli aspetti legati alla fabbricazione dei materiali, ma anche e principalmente per quanto attiene alla loro capacità di risolvere problemi ingegneristici, ivi compresi quelli afferenti alla messa a punto di componenti destinati alle più varie applicazioni. Solo in queste facoltà esistono le condizioni che consentono, sulla base di adeguate conoscenze delle materie di base, delle discipline ingegneristiche fondamentali e dell'uso dei mezzi informatici, di sviluppare in modo approfondito argomenti di carattere chimico, fisico, meccanico ed elettronico sulla natura dei materiali e sulla interdipendenza fra proprietà e microstruttura, sui fenomeni che regolano i processi di produzione e la conduzione degli impianti, sulle possibilità di modificare le proprietà dei materiali con opportuni trattamenti termici, meccanici o di altra natura.

Nonostante questa situazione potenzialmente favorevole occorre sottolineare che in Italia, a differenza di tutti i paesi più industrializzati nei quali la ricerca e la didattica relative ai materiali si sono notevolmente sviluppate, vi è stata finora una scarsa attenzione a questi problemi. Solo in tempi relativamente recenti sono stati infatti attivati presso alcune Facoltà di ingegneria corsi di laurea in *Ingegneria dei materiali*. Per quanto concerne l'attivazione del nuovo corso di laurea presso il Politecnico di Torino occorre rilevare che in tale ambito sono presenti spettri di competenze specifiche assai ampi, specie se confrontati con quelli di altre sedi universitarie dell'Italia nord-occidentale. Il territorio di riferimento è dunque assai esteso e caratterizzato dalla presenza del più importante e complesso tessuto di industrie che utilizzano o producono i migliori materiali tradizionali e quelli più avanzati di tutto il territorio nazionale. In esso già esiste un mercato del lavoro che deve essere occupato e che è destinato ad espandersi, ed è presente una forte domanda di formazione altamente qualificata nell'area dei materiali, per garantire l'indispensabile competitività delle industrie anche in questo fondamentale settore.

Con riferimento anche a quanto testè esposto, e avendo presente, in ordine al nuovo corso di laurea, anche la situazione esistente presso gli altri paesi della Comunità Europea, è possibile precisare ulteriormente la nuova figura professionale che, pur potendo operare in modo autonomo, sembra trovare la collocazione più idonea nell'ambito di *team* di progettazione operanti presso le industrie dei trasporti su strada e su rotaia e presso quelle aeronautiche, chimiche, meccaniche ed elettroniche.

Nell'ambito del settore del trasporto terrestre, così importante nell'area nord-occidentale del Paese, è certamente indispensabile la presenza di competenze tali da consentire l'ottimizzazione della progettazione di componenti basata su una conoscenza delle cor-

relazioni fra struttura e proprietà che consenta di influire sulla scelta dei materiali e sulle tecnologie di elaborazione, valutando con competenza le possibilità offerte dai nuovi materiali, quali ad es. i materiali compositi a matrice polimerica o metallica, i tecnopolimeri, le leghe altoresistenziali e quelle leggere, i materiali ceramici non tradizionali, ecc., per poter affidare loro un ruolo significativo nella competizione tecnologica.

Considerazioni analoghe possono essere formulate per quanto concerne il settore aeronautico e aerospaziale, anch'esso presente in modo significativo in ambito regionale. I materiali sono uno dei fattori strategici per lo sviluppo delle specifiche attività produttive e per la presenza del Paese in consorzi internazionali: si tratta di materiali ad alta resistenza e bassa densità per impieghi strutturali, di materiali ceramici o metallici per alte temperature, di materiali resistenti agli *shock* termici o con proprietà idonee ad essere assemblati in condizioni di microgravità. In questo caso, più che in ogni altro, occorre che la qualità dei materiali offra la massima garanzia per poter assicurare un'analogha caratteristica ai componenti.

Per quanto concerne l'ambito dell'industria chimica ogni innovazione di processo richiede per gli impianti la disponibilità di materiali adeguati, in grado spesso di lavorare con grande affidabilità in condizioni estreme per quanto concerne la temperatura, la pressione, l'aggressività dei sistemi da elaborare. La scelta dei materiali è in questo caso particolarmente basata sulla conoscenza dei fenomeni chimico-fisici che regolano e condizionano i processi tecnologici e la disponibilità di laureati che accomunino conoscenze ingegneristiche e quelle sui materiali risulta altamente appetibile dalle numerose industrie del settore attive sul territorio.

Nel settore di vitale importanza per l'innovazione tecnologica dell'elettronica, i materiali e le tecnologie realizzative costituiscono un fattore di importanza strategica per gli sviluppi futuri di industrie e di laboratori di ricerca che hanno conquistato o desiderano acquisire una dimensione europea. In settori quali la microelettronica, le microonde, la conversione diretta dell'energia, la componentistica nell'infrarosso e in generale l'optoelettronica, che vedono nell'area nord-occidentale del paese la maggiore concentrazione di industrie manifatturiere nel campo sia delle applicazioni informatiche che in quello delle telecomunicazioni, l'elemento innovativo tecnologico sempre più si basa sullo sfruttamento delle caratteristiche fisiche dei materiali, dai semiconduttori composti, ai materiali amorfi, ai ceramici avanzati, e sulla conoscenza e sull'impiego delle loro "anomalie". Diventa perciò vitale per industrie e laboratori di ricerca poter disporre di una formazione universitaria "di eccellenza" nel campo dei nuovi materiali, accompagnata da una profonda sensibilità (ingegneristica) ai problemi dei campi di applicazione dei dispositivi moderni (integrati ibridi e monolitici, componenti per onde millimetriche, ottica integrata, ...).

Molti altri settori, alcuni consolidati ed altri in fase di decollo, quali quelli afferenti all'industria meccanica in generale, alla produzione e alla conversione dell'energia, alla bioingegneria, alla industria delle costruzioni, etc., tutti presenti nelle aree ad alto sviluppo industriale, riconoscono nella scelta dei materiali più idonei per la soluzione di ciascun problema la chiave di volta per presentarsi in modo competitivo sui mercati. Le competenze presenti nel Politecnico, spesso di rilevanza internazionale, nel campo della chimica, della fisica e dell'elettronica, della scienza dei materiali e della metallurgia, sono in grado di assicurare, in stretta collaborazione con gli enti esterni interessati, un processo formativo volto alla preparazione di tecnici in grado di operare, a livello direttivo, sia in laboratori e sezioni di ricerca e sviluppo di aziende private e in centri di ricerca pubblici (CNR), sia in industrie dove sia strategica la scelta dei materiali e delle tecnologie per la realizzazione di componenti o dispositivi.

## 2 Insegnamenti obbligatori

La scelta proposta per gli insegnamenti obbligatori, globalmente considerati, è mirata a fornire una preparazione, sia di base, sia specifica tecnico-professionale, congruente con le indicazioni di profilo professionale precedentemente esposte.

Per quanto riguarda la formazione matematica di base, oltre al *corpus* tradizionalmente impartito negli attuali insegnamenti del biennio (*Analisi matematica*, *Geometria*), seppur parzialmente rivisti al fine di meglio rispondere a nuove esigenze emerse, si pone l'esigenza di trovare lo spazio per tematiche che si ritengono indispensabili per la formazione di un ingegnere dei materiali. Per soddisfare tale esigenza si introduce, a mezza annualità, il corso di analisi superiore (*Analisi 3*), cui si riserva il compito primario di insegnare le funzioni di variabile complessa e le trasformate integrali (soprattutto Fourier) e si introduce mezza annualità di *Calcolo numerico*, cui si richiede una trattazione dei concetti usualmente proposti affrontati con un preciso taglio applicativo. Per quanto concerne l'aspetto dell'informatica di base un insegnamento di *Fondamenti di informatica* fornisce le prime nozioni relative all'architettura dei sistemi di elaborazione ed alla loro programmazione.

La preparazione di base è completata da un corso di *Chimica*, due di *Fisica* e uno di *Elettrotecnica*, secondo i requisiti richiesti dall'ordinamento degli studi di ingegneria. In particolare i corsi di *Fisica* hanno soprattutto il compito di svolgere un ruolo formativo sugli aspetti significativi della metodologia interpretativa propria della fisica. Punti significativi, sono rispettivamente, nella *Fisica 1*, nozioni generali sulle unità dimensionali, una trattazione unificata dei campi e lo studio congiunto del campo gravitazionale e di quello coulombiano, e, nella *Fisica 2*, una trattazione della termodinamica, non solo di tipo classico, ma anche statistico. Tali conoscenze consentono una descrizione microscopica del magnetismo e in particolare del ferromagnetismo e del ferrimagnetismo. Per quanto concerne l'*Elettrotecnica* la teoria dei circuiti viene fatta derivare dai modelli della trattazione dei campi elettromagnetici. La sua presenza nel primo periodo del secondo anno consente inoltre a un maggior numero di corsi di avvalersi delle metodologie rappresentative messe a punto da tale corso. Il fatto però che esso preceda *Analisi 3*, ove vengono introdotte le trasformate di Laplace, comporta che il calcolo simbolico generalizzato venga poi trattato in quest'ultimo corso.

Occorre qui sottolineare come i cinque insegnamenti previsti per il primo anno siano comuni agli altri corsi di laurea; questo facilita l'eventuale cambio di corso di laurea a quegli studenti che, al termine del primo anno, si accorgessero di aver operato una scelta non conforme alle proprie aspettative.

Il corso di laurea in *Ingegneria dei materiali* prevede come propedeuticità specifiche le tematiche presenti nei tre insegnamenti di *Struttura della materia*, *Scienza dei materiali* e *Fisica tecnica*:

- *Struttura della materia* completa la formazione fisica fornendo alcuni cenni di meccanica quantistica e di fisica dello stato solido con una particolare trattazione della struttura cristallina regolare e difettiva e delle proprietà di trasporto.
- *Scienza dei materiali* costituisce, a completamento dei principi chimico-fisici acquisiti dagli altri corsi, la base teorica delle discipline specialistiche a maggior carattere ingegneristico del corso di laurea. In particolare tratta dei diagrammi di stato, dei fenomeni di diffusione, dei processi di nucleazione, crescita e trasformazione delle fasi e infine dei meccanismi di rafforzamento.
- *Fisica tecnica* svolge il compito di completare le conoscenze dei materiali per quanto concerne gli aspetti della termodinamica, della termocinetica e della fluidodinamica.

La cultura ingegneristica di base è completata da cinque corsi a spettro ampio, ed in particolare da:

- un corso di *Scienza delle costruzioni*, nel quale sono presenti elementi teorici di base di tale disciplina e aspetti applicativi sulle problematiche tecniche legate alla resistenza dei materiali;
- un corso di *Elettronica applicata*, che fornisce gli elementi di base dell'elettronica circuitale, dedicando una particolare attenzione alla descrizione dei sottosistemi di maggiore impiego e alla loro corretta utilizzazione, piuttosto che a uno studio approfondito di ogni singolo circuito;
- un corso di *Elementi di meccanica teorica e applicata*, che sviluppa le principali nozioni di meccanica razionale e tratta ampiamente i temi tradizionali della meccanica applicata;
- un corso di *Economia e organizzazione aziendale*, nel quale i principi di economia e di gestione aziendale vengono ampliati con cenni di microeconomia;
- un corso di *Misure elettroniche*, che è organizzato in quattro moduli: metrologia, strumenti, misure particolari sui materiali e sistemi automatici di misura, nozioni sulla affidabilità e sugli enti normativi.

La preparazione professionale specifica nel campo dell'ingegneria dei materiali e delle loro tecnologie è fornita da quattro insegnamenti:

- *Materiali metallici*, dove, oltre a descrivere le principali proprietà dei metalli ferrosi e non ferrosi e le loro tecnologie, sono forniti criteri razionali di scelta e di controllo.
- *Scienza e tecnologia dei materiali polimerici*, dove viene presentato un quadro generale sui principali tipi di polimeri, sulla loro sintesi, sulle loro proprietà fisiche e tecnologiche e sui loro impieghi.
- *Scienza e tecnologia dei materiali ceramici*, dove sono sviluppate adeguate conoscenze sulle caratteristiche, sulla produzione e sull'uso dei materiali ceramici tradizionali e speciali.
- *Dispositivi elettronici*, nel quale, partendo dai concetti fondamentali della fisica dei solidi, si derivano le caratteristiche dei materiali semiconduttori. Successivamente vengono descritti i principi dei dispositivi a semiconduttore fornendo nozioni di base sugli aspetti tecnologici.

La preparazione professionale nel campo della meccanica delle macchine è data oltre a quella fornita nell'ambito del corso di *Elementi di meccanica teorica e applicata*, dagli insegnamenti di *Macchine* e di *Costruzione di macchine*. La preparazione professionale nel campo degli impianti si concretizza con un corso lasciato alla libera scelta dello studente, a seconda del suo specifico orientamento, tra i corsi di *Impianti meccanici*, *Impianti chimici* o *Impianti metallurgici*.

Il quadro didattico di insegnamenti obbligatori sopra delineato vincola rigidamente 24 annualità, ed è sintetizzato nella tabella seguente.

### 3 Quadro didattico dei corsi obbligatori

- 
- 1:1 (1. anno, 1. periodo didattico)  
 E0231 : Analisi matematica 1  
 E0620 : Chimica
- 
- 1:2 E2300 : Geometria  
 E1901 : Fisica 1  
 E2170 : Fondamenti di informatica
- 
- 2:1 E0232 : Analisi matematica 2  
 E1902 : Fisica 2  
 E1790 : Elettrotecnica
- 
- 2:2 E5340 : Struttura della materia  
 E0234 : Analisi matematica 3 (ridotto)  
 E0514 : Calcolo numerico (ridotto)  
 E1660 : Elementi di meccanica teorica e applicata
- 
- 3:1 E4600 : Scienza delle costruzioni  
 E4590 : Scienza dei materiali  
 E1710 : Elettronica applicata
- 
- 3:2 E4680 : Scienza e tecnologia dei materiali polimerici  
 E2060 : Fisica tecnica  
 E1442 : Dispositivi elettronici 2
- 
- 4:1 E3670 : Misure elettroniche  
 E3110 : Macchine  
 E1530 : Economia ed organizzazione aziendale
- 
- 4:2 E3180 : *Materiali metallici* [sostituito da E3420 Metallurgia 93/94]  
 E4630 : Scienza e tecnologia dei materiali ceramici  
 Y<sub>1</sub>
- 
- 5:1 E2730 : Impianti meccanici oppure  
 E2740 : Impianti metallurgici oppure  
 E2600 : *Impianti chimici* [non attivato 93/94]  
 Y<sub>2</sub>  
 Y<sub>5</sub>
- 
- 5:2 E0940 : Costruzione di macchine  
 Y<sub>3</sub>  
 Y<sub>4</sub>  
 Y<sub>5</sub>
- 

Y<sub>1</sub>-Y<sub>5</sub> indicano possibili collocazioni di insegnamenti di orientamento.

## 4 Orientamenti

Y<sub>1</sub>–Y<sub>5</sub> sono corsi a scelta, di cui almeno 3 obbligati dall'orientamento prescelto. Gli orientamenti sono:

- *Materiali metallici e metallurgia*
- *Materiali ceramici, polimerici e compositi*
- *Materiali per elettronica e optoelettronica*

Gli orientamenti sono stati individuati separando per filoni di applicazione la formazione dell'ingegnere e si basano inoltre sulle precise competenze scientifiche e didattiche consolidate presso il Politecnico di Torino.

Gli insegnamenti per ogni orientamento dovranno essere scelti preferibilmente nell'ambito delle discipline elencate nel seguito (almeno 3 devono comunque ritenersi vincolanti).

---

### *Materiali metallici e metallurgia*

- Y<sub>1</sub> E4370 : Proprietà termofisiche dei materiali [2. periodo didattico]  
 Y<sub>2</sub> E5640 : Tecnologia meccanica [1. periodo didattico]  
 Y<sub>3</sub> E5710 : Tecnologie metallurgiche [2. pd]  
 Y<sub>4</sub> E0910 : Corrosione e protezione dei materiali metallici [2. pd]  
 Y<sub>5</sub> Un'annualità a scelta tra:  
 E3950 : Plasticità e lavorazioni per deformazione plastica [2. pd]  
 E1700 : Elettrometallurgia [2. pd]  
 E1430 : Disegno tecnico industriale [2. pd]  
 E3265 : Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (integrato) [2. pd]  
 E5404 : Superconduttività (ridotto) [2. pd] + E1994 : Fisica delle superfici (ridotto) [1. pd]  
 E5570 : Tecnologia dei materiali e chimica applicata [2. pd]  
 E4780 : Siderurgia [1. pd]

---

### *Materiali per elettronica e optoelettronica*

- Y<sub>1</sub> E4370 : Proprietà termofisiche dei materiali [2. periodo didattico]  
 Y<sub>2</sub> E5691 : Tecnologie e materiali per l'elettronica 1 [1. periodo didattico]  
 Y<sub>3</sub> E1442 : Dispositivi elettronici 2 [2. pd]  
 Y<sub>4</sub> Un'annualità a scelta tra:  
 E0530 : Campi elettromagnetici [1., 2. periodo didattico]  
 E5692 : Tecnologie e materiali per l'elettronica 2 [non attivato 93/94]  
 E0770 : Componenti e circuiti ottici [1. pd]  
 E3880 : Ottica [1. pd]  
 E3560 : Microelettronica [2. pd]  
 E4700 : Sensori e trasduttori [1. pd]  
 E3870 : Optoelettronica [2. pd]  
 E5404 : Superconduttività (ridotto) [2. pd] + E1994 : Fisica delle superfici (ridotto) [1. pd]  
 Y<sub>5</sub> E1750 : Elettronica dello stato solido [1. pd]
-

---

*Materiali ceramici, polimerici e compositi*

- Y<sub>1</sub> E4370 : Proprietà termofisiche dei materiali [2. periodo didattico]  
Y<sub>2</sub> E1020 : Costruzione e tecnologia del pneumatico e degli antivibranti [1. pd]  
Y<sub>3</sub> E5570 : Tecnologia dei materiali e chimica applicata [2. pd]  
Y<sub>4</sub> E4050 : Processi di produzione di materiali macromolecolari [2. pd]  
Y<sub>5</sub> Un'annualità a scelta tra:  
E3950 : Plasticità e lavorazioni per deformazione plastica [2. pd]  
E1430 : Disegno tecnico industriale [2. pd]  
E5640 : Tecnologia meccanica [1. pd]  
E4660 : Scienza e tecnologia dei materiali elettrici [1. pd]  
E4640 : Scienza e tecnologia dei materiali compositi [2. pd]  
E2024 : *Fisica e ingegneria dei plasm*i (ridotto) [non attivato 93/94]
- 

NOTA. Nell'anno accademico 1993/94 sono attivati tutti gli insegnamenti elencati, tranne quelli accompagnati da esplicita indicazione in contrario.

# Programmi degli insegnamenti

*I programmi sono riportati in ordine di anno e periodo didattico (a parità, in ordine alfabetico): a questa sezione seguono gli indici alfabetici generali, per titoli degli insegnamenti e per nomi dei docenti. Nell'intestazione ai singoli corsi, dove i titolari del corso siano più d'uno e afferenti ad uno stesso dipartimento, il nome del dipartimento non viene ripetuto.*

*La presente Guida è andata in stampa il 1993-07-21, e quanto riportato è da ritenersi aggiornato a quella data. La ristrettezza dei tempi di edizione non ha permesso di sottoporre all'attenzione dei singoli docenti i testi che seguono per una finale revisione: il CIDEM si scusa con docenti e studenti per eventuali sviste ed errori residui, assumendosene la responsabilità, e ringrazia anticipatamente coloro che vorranno segnalarli.*

## E 0231 Analisi matematica 1

Anno:periodo 1:1 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Stefania De Stefano Viti (Matematica)

Il corso si propone di fornire allo studente gli elementi di base del calcolo infinitesimale per una metodologia di lavoro che da un lato lo avvia a utilizzare criticamente gli strumenti acquisiti, dall'altro a collegare (attraverso applicazioni a problemi di fisica e di ingegneria) i corsi di matematica ai successivi corsi di indirizzo.

**REQUISITI.** Le nozioni fondamentali di algebra, di geometria, di trigonometria e di calcolo dei logaritmi della scuola media superiore.

### PROGRAMMA

Teoria degli insiemi.

Insiemi di numeri e loro proprietà: numeri interi, razionali, reali.

Elementi di geometria analitica piana.

Limiti di funzioni di variabile reale.

Successioni.

Continuità e derivabilità.

Proprietà delle funzioni continue e delle funzioni derivabili in un intervallo.

Funzioni elementari.

Approssimazione di funzioni: sviluppi di Taylor.

Integrali indefiniti.

Integrazione definita (secondo Riemann). Integrali impropri.

Equazioni differenziali del primo ordine (a variabili separabili, omogenee e lineari)

Equazioni differenziali del secondo ordine riconducibili al primo ordine.

Equazioni differenziali lineari del secondo ordine a coefficienti costanti.

### BIBLIOGRAFIA

C. Belingeri, F. Bongiorno, F. Rosati, *Matematica -30 (trenta giorni prima dell'inizio dei corsi)*, Aracne, Roma, 1992.

J.P. Cecconi, G. Stampacchia, *Analisi matematica, vol. 1*, Liguori, Napoli, 1980

G. Geymonat, *Lezioni di Analisi matematica 1*, Levrotto & Bella, Torino, 1981.

P. Marcellini, G. Sbordone, *Esercitazioni di matematica* (2 volumi), Liguori, Napoli, 1991.

M. Pavone, *Temi di esame svolti di Analisi matematica 1*, Aracne, Roma, 1993.

M. Pavone, *Integrali impropri e funzioni integrali*, Aracne, Roma, 1992.

## E 0620 Chimica

Anno: periodo 1:1 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 24 (settimanali 6/2)

Prof. Bruno De Benedetti (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di fornire le basi teoriche necessarie per la comprensione dei fenomeni chimici e di dare una breve rassegna delle proprietà degli elementi più comuni e dei loro principali composti.

### PROGRAMMA

#### *Chimica generale.*

Sistemi omogenei ed eterogenei. Concetto di fase, di composto, di elemento. Teoria atomico-molecolare. Legge di Avogadro. Determinazione dei pesi atomici e molecolari. Concetto di mole. Calcoli stechiometrici. Nomenclatura chimica.

Il sistema periodico degli elementi. L'atomo secondo i modelli classici e quantomeccanici. Interpretazione elettronica del sistema periodico. Fenomeni legati all'emissione delle radiazioni luminose e dei raggi X.

Legame ionico, covalente, metallico. Energie reticolari e di legame. Grado di ossidazione. Isotopia. Energia di legame dei nucleoni. Radioattività. Fissione e di fusione nucleare.

Leggi dei gas. Dissociazione termica. Teoria cinetica dei gas. Calore specifico dei gas.

Stato solido. Reticolo cristallino e cella elementare. Difetti reticolari. Soluzioni solide. Stato liquido. Equazione di Clausius-Clapeyron. Tensione di vapore delle soluzioni. Fenomeni crioscopici ed ebullioscopici. Pressione osmotica.

Energia interna ed entalpia. Effetto termico della reazioni. Entropia ed energia libera di reazione. Velocità di reazione. Catalisi.

Legge dell'azione di massa. Principio dell'equilibrio mobile. Regola delle fasi. Diagrammi di stato. Applicazione della legge delle fasi agli equilibri chimici eterogenei.

Soluzioni di elettroliti. Elettrolisi. Costante di ionizzazione. Prodotto ionico dell'acqua. Acidi e basi, *pH*. Idrolisi. Prodotto di solubilità. Potenziale d'elettrodo. Serie elettrochimica. Tensioni di decomposizione. Potenziali di ossido-riduzione. Cenni di corrosione.

#### *Chimica inorganica.*

Proprietà e metodi di preparazione industriale di idrogeno, ossigeno, sodio, rame, calcio, zinco, alluminio, carbonio, silicio, azoto, fosforo, cromo, uranio, zolfo, manganese, alogeni, ferro e dei loro principali composti.

#### *Chimica organica.*

Cenni su idrocarburi saturi e insaturi. Polimeri. Alcoli, aldeidi, chetoni, acidi organici, eteri, esteri, ammine, ammidi, nitrili. Benzene e composti aromatici.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni sono ampliamento di argomenti di lezione, esperienze di laboratorio e calcoli relativi a argomenti di chimica generale.

### BIBLIOGRAFIA

C. Brisi, V. Cirilli, *Chimica generale e inorganica*, Levrotto & Bella, Torino.

M.J. Sienko, R.A. Plane, *Chimica: principi e proprietà*, Piccin, Padova.

C. Brisi, *Esercitazioni di chimica*, Levrotto & Bella, Torino.

P. Silvestroni, *Fondamenti di chimica*, Veschi, Roma.

L. Rosemberg, *Teoria e applicazioni di chimica generale*, Collana Schaum, ETAS Kompass.

M. Montorsi, *Appunti di chimica organica*, CELID, Torino.

## E 1430 Disegno tecnico industriale

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 48 esercitazioni 72 (settimanali 4/6)

Prof. Giovanni Podda,

*Docente da nominare* (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

Il corso fornisce le nozioni teoriche ed applicative di rappresentazione grafica degli oggetti della produzione meccanica, con particolare riguardo ai riferimenti normativi.

### PROGRAMMA

La rappresentazione di elementi meccanici mediante proiezioni ortogonali ed assonometriche, con richiami alle nozioni fondamentali di geometria descrittiva.

Normativa nazionale ed internazionale sul disegno tecnico.

Quotatura, con introduzione alla quotatura funzionale.

Tolleranze di lavorazione, dimensionali e geometriche; relazioni con i processi di lavorazione e criteri di scelta.

Finitura superficiale, rugosità.

Elementi ricorrenti nelle costruzioni meccaniche: smussi, raccordi, gole, assi ed alberi, perni e snodi, tenute e guarnizioni. Molle.

Montaggio e fissaggio di organi meccanici: dispositivi di collegamento smontabili non filettati (chiavette, linguette, spine, scanalati) e filettati (viti, dadi, ghiera, dispositivi antisvitamento spontaneo).

Collegamenti saldati.

Cenni di tecnologia di base: lavorazioni fondamentali per deformazione ed asportazione di truciolo e loro influenza sul disegno dei pezzi meccanici. Schemi delle principali macchine utensili.

Elementi di disegno assistito da elaboratore, rappresentazioni automatizzate bi- e tridimensionali, uso di programmi specifici.

2

### ESERCITAZIONI

Schizzi e disegni di particolari e di gruppi meccanici semplici, con introduzione all'uso di tabelle e cataloghi. Disegno con elaboratore di particolari mediante impiego di programmi di base (AutoCAD).

## E 1901 Fisica 1

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 laboratori 4 (settimanali 6/2)

Prof. Aurelia Stepanescu Sansoè (Fisica)

### PROGRAMMA

Sistemi di unità e di misura ed equazioni dimensionali.

*Cinematica del punto.* Moto rettilineo e piano. Trasformazioni delle grandezze cinematiche con il mutare del sistema di riferimento (trasformazioni di Galileo, accelerazione di Coriolis, trasformazioni di Lorentz).

*Dinamica del punto.* Tre principi di Newton. Forze di inerzia. Attrito (statico e radente). Forze elastiche e di resistenza del mezzo. Lavoro, potenza, teorema dell'energia cinetica.

*Concetto di campo.* Campi conservativi, energia potenziale. Conservazione dell'energia meccanica.

*Sistemi parzialmente estesi.* Centro di massa. Quantità di moto, conservazione della quantità di moto.

*Corpo rigido.* Momento angolare. Assi principali d'inerzia. Conservazione momento angolare. Trattazione elementare del giroscopio.

*Oscillazioni.* Oscillatore armonico, smorzato. Oscillazioni forzate e risonanze.

*Cenni di meccanica dei fluidi.*

Equazione di continuità. Tensione superficiale.

*Ottica geometrica.*

*Campo gravitazionale e coulombiano.* Teorema di Gauss. Equazione di Poisson.

Elettrostatica. Energia campo elettrico. Polarizzazione del dielettrico. Dielettrici.

### ESERCITAZIONI.

Esercizi applicativi sul programma del corso. Esercitazioni in laboratorio su: misurazione dell'accelerazione di gravità; misurazione del periodo del pendolo in funzione della lunghezza e dell'elongazione (*computer on line*).

## E 2170 Fondamenti di informatica

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 4 laboratori 4

Prof. Silvano Gai (Automatica e informatica)

Il corso intende fornire agli allievi i fondamenti dell'informatica, sotto l'aspetto sia *hardware* sia *software*. Particolare importanza viene data ai principi della programmazione mediante l'uso di linguaggio evoluti quali il Pascal. Vengono inoltre fornite nozioni introduttive sulla struttura di un elaboratore e sulla rappresentazione dell'informazione al suo interno.

### PROGRAMMA

*La codifica dell'informazione.*

*Algebra booleana:* teoremi fondamentali e principi di minimizzazione delle espressioni.

*L'architettura di un sistema di elaborazione:*

- distinzione tra *hardware* e *software*;
- architettura *hardware*: unità centrale di elaborazione (CPU), memoria centrale, memoria di massa, unità di ingresso/uscita;
- struttura a *bus*;
- principi base di funzionamento;
- le varie fasi dell'esecuzione di una istruzione.

*Il software*: classificazioni; varie fasi dello sviluppo di un programma; principali componenti *software* di un sistema di elaborazione.

*Linguaggi di programmazione*: classificazioni; caratteristiche del linguaggio macchina, dell'*assembler* e dei linguaggi evoluti.

*Il sistema operativo*: concetti introduttivi; classificazioni; caratteristiche principali del sistema operativo MS-DOS.

*Programmazione*: i principi della programmazione strutturata; le tecniche di programmazione; il linguaggio Pascal.

**ESERCITAZIONI.** Sono previste esercitazioni di programmazione in Pascal in aula e su *personal computer*.

## **E 2300 Geometria**

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Giulio Tedeschi (Matematica)

**REQUISITI.** *Analisi matematica 1.*

### **PROGRAMMA**

Calcolo vettoriale.

Geometria analitica del piano. Coniche e altri luoghi.

Coordinate polari e numeri complessi.

Geometria dello spazio.

Rappresentazione e studio delle curve.

Superfici e loro rappresentazioni.

Cambiamenti di coordinate. Coordinate cilindriche e sferiche.

Spazi vettoriali.

Calcolo matriciale.

Sistemi lineari.

Autovalori e autovettori.

Spazi euclidei.

## E 0232      **Analisi matematica 2**

Anno:periodo 2:1 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Paolo Boieri (Matematica)

REQUISITI. *Geometria.*

### PROGRAMMA

Calcolo differenziale per funzioni di più variabili. Funzioni definite implicitamente. Massimi e minimi vincolati.

Integrazione multipla.

Integrali di linea e di superficie. Integrale di linea e di flusso. Teoremi di Green, di Gauss e di Stokes.

Spazi vettoriali normati: cenno agli spazi di Hilbert.

Successioni e serie di funzioni. Serie di potenze e serie di Fourier.

Sistemi dinamici discreti ed equazioni alle differenze.

Equazioni differenziali ordinarie.

Sistemi di equazioni differenziali lineari.

ESERCITAZIONI. Parallelamente agli argomenti delle lezioni vengono svolti esercizi in aula e/o col calcolatore.

## E 1790      **Elettrotecnica**

Anno:periodo 2:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 4

Prof. Vito Daniele (Elettronica)

L'insegnamento riguarda soprattutto i fondamenti della teoria dei circuiti elettrici a parametri concentrati. Nozioni sui campi e sulle macchine elettriche sono pure comprese nel programma.

REQUISITI. *Analisi matematica 1 e 2. Fisica 2.*

### PROGRAMMA

Richiami sui campi elettromagnetici e sulle definizioni di tensione, corrente e potenza. Il concetto di circuito a parametri concentrati. Le leggi di Kirchhoff per le tensioni e correnti.

Reti lineari elementari. Modelli di resistore lineare e di generatori ideali. Connessioni di resistori. Principi di sostituzione e di sovrapposizione degli effetti. Teoremi di Millmann, Thévenin, Norton.

Reti generali costituite di elementi senza memoria ed in regime qualsiasi. Metodi dei nodi e delle maglie. Circuiti con diodi. Circuiti con generatori dipendenti. Matrice di resistenza e di conduttanza di doppi bipoli lineari contenenti elementi resistivi. Circuiti con trasformatore e giratore ideali.

Reti in regime sinusoidale permanente. Modelli lineari di condensatore ed induttore. Definizione di fasore, di impedenza e di ammettenza. Analisi fasoriale dei circuiti: estensione dei teoremi e dei metodi introdotti per le reti senza memoria. Potenza in regime sinusoidale. Circuiti risonanti.

Analisi delle reti nel dominio del tempo. Variabili di stato. Equazioni di stato della rete e soluzione.

Analisi delle reti nel dominio della pulsazione complessa. Trasformata di Laplace (richiami). Risposta all'impulso e al gradino. Funzioni di trasferimento.

Doppi bipoli. Caratterizzazione con matrici delle impedenze, ammettenze, ibrida e di trasmissione. Connessione di doppi bipoli.

Sistemi trifase. Terna dei generatori, circuito monofase equivalente, potenza e rifasamento.

Calcolo di parametri di rete. Calcolo di resistori, induttori, capacità, circuiti magnetici e mutue induttanze.

Complementi sulle reti elettriche. Metodi topologici. Equazioni di stato per reti degeneri. Complementi sull'uso della trasformata di Laplace.

Campi elettromagnetici in regime quasi stazionario. Equazioni di Maxwell e di continuità. Teorema di Poynting. Circuito equivalente del trasformatore reale.

Principi di funzionamento delle macchine elettriche rotanti. Alternatore e motore sincrono. Generatore e motore asincrono. Dinamo e motore in corrente continua.

## E 1902 Fisica 2

Anno: periodo 2:1 Impegno (ore): lezioni 82 esercitazioni 26 laboratori 12 (settimanali 6/2)

Prof. Marco Omini (Fisica)

REQUISITI. *Fisica I.*

### PROGRAMMA

*Classificazione dei conduttori elettrici.*

Proprietà di trasporto nei conduttori. Legge di Ohm. Effetti termoelettrici. Leggi di Kirchhoff e cenni ai circuiti RC.

*Magnetismo.*

Principio di Ampère. Circuitazione del campo magnetico. Formule di Laplace.

*Interazione magnetica.*

Forza su di una carica. Moto di particelle in campo magnetico. Forza di Lorentz e moto ciclotronico.

*Descrizione empirica del magnetismo.*

Isteresi magnetica. Elettromagneti. Circuiti magnetici.

*Campi elettrici e magnetici dipendenti dal tempo.*

Legge dell'induzione elettromagnetica. Induttanze e cenni ai circuiti RLC. Equazioni di Maxwell.

*Onde elettromagnetiche nel vuoto e nella materia.* Concetto di fotone.

*Ottica ondulatoria.*

Interferenza. Diffrazione. Potere risolvente di uno strumento ottico. Polarizzazione della luce nei cristalli. Prisma di Nicol e lamina a quarto d'onda.

*Termodinamica.*

Termodinamica classica: temperatura e calore; I principio; II principio e entropia.

Elementi di statistica: distribuzioni di Boltzmann, Maxwell, Bose-Einstein; corpo nero.

Legge di Stephan-Boltzmann.

Discussione microscopica di dia-, para-, ferro-, antiferro- e ferri-magnetismo.

## E 0234      **Analisi matematica 3**

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 36 esercitazioni 14 (settimanali 3/1)

Prof. Giancarlo Teppati (Matematica)

### PROGRAMMA

*Funzioni analitiche* (26 ore)

Derivabilità, condizioni di Cauchy–Riemann, integrabilità.

Teorema di Cauchy, teorema dei residui, calcolo del residuo in singolarità polari, calcolo di integrali con il metodo dei residui, lemma del gran cerchio e di Jordan.

Formule integrali di Cauchy.

Sviluppabilità in serie di Taylor.

Principi di identità.

Comportamento locale: sviluppi di Laurent, classificazione delle singolarità isolate.

Punto all'infinito e piano di Gauss.

Alcuni tipi di comportamento globale: funzioni intere, teorema di Liouville; funzioni meromorfe.

Calcolo dei coefficienti nella decomposizione in fratti semplici.

Estensione analitica e polidromia:  $\sqrt{z}$  e  $\ln z$ .

Funzioni analitiche e funzioni armoniche. Teorema della media di Gauss.

Trasformazioni analitiche di regioni piane.

*Concetti introduttivi sulle trasformate integrali* (10 ore)

Introduzione alla trasformazione e antitrasformazione di Fourier; proprietà di simmetria.

Proprietà delle trasformate di Fourier e di Laplace; linearità, coniugazione complessa, cambio di scala, traslazione temporale, traslazione frequenziale, derivata temporale, convoluzione frequenziale.

Trasformate di Fourier di funzioni reali; immaginarie, pari e dispari.

Trasformate e antitrasformate fondamentali di Laplace di funzioni.

**ESERCITAZIONI.** Verrà introdotto il calcolo simbolico generalizzato con esempi nello studio di transitori di reti elettriche.

## E 0494      **Calcolo delle probabilità**

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 30 esercitazioni 14

Prof. Franco Piazzese (Matematica)

### PROGRAMMA

Teoria delle probabilità: eventi numerabili; spazio campionario; gli assiomi della probabilità; criteri di assegnazione delle probabilità. Probabilità congiunte e condizionate; indipendenza statistica.

Teoria della probabilità: continuo di eventi; variabili casuali, densità di probabilità; momenti; densità di probabilità congiunte; correlazione e indipendenza statistica.

Distribuzioni e loro proprietà generali; distribuzioni notevoli.

Trasformazioni di variabili casuali.

Serie formali e funzione caratteristica.

La diseuguaglianza di Chebysseff; il teorema del limite centrale. Convergenza in misura di probabilità.

Introduzione ai processi stocastici: modelli di processi stocastici.

Introduzione ai problemi di statistica e applicazioni: metodi Monte Carlo.

## E 0514 Calcolo numerico

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 38 esercitazioni 12 (settimanali 3/1)

Prof. Anna Maria Orsi Palamara (Matematica)

Il corso deve illustrare i metodi numerici di base e le loro caratteristiche (condizioni di applicabilità, efficienza sia in termini di complessità computazionale che di occupazione di memoria), nonché addestrare gli studenti all'uso di librerie scientifiche (IMSL, NAG) per la risoluzione di problemi numerici.

REQUISITI. *Analisi I*, Algebra lineare (*Geometria*), *Fondamenti di informatica*.

### PROGRAMMA

Preliminari: condizionamento di un problema e di stabilità di un algoritmo.

Risoluzione di sistemi lineari: metodo di Gauss, fattorizzazione di una matrice e sue applicazioni, metodi iterativi.

Calcolo degli autovalori di una matrice.

Approssimazione di funzioni e di dati sperimentali: interpolazione con polinomi algebrici e con funzioni *spline*; minimi quadrati. Derivazione numerica.

Equazioni e sistemi di equazioni non lineari: metodo di Newton e sue varianti; processi iterativi in generale.

Calcolo di integrali: formule di Newton-Cotes; polinomi ortogonali; formule gaussiane; *routine* automatiche.

Equazioni differenziali ordinarie per problemi a valori iniziali: metodi *one-step* e *multistep*; stabilità dei metodi; sistemi *stiff*.

### BIBLIOGRAFIA

G. Monegato, *Fondamenti di calcolo numerico*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

## E 1660 Elementi di meccanica teorica e applicata

Anno: periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 68 esercitazioni 40 (settimanali 6/4)

Prof. Massimo Sorli (Meccanica)

### PROGRAMMA

*Geometria delle masse:* baricentri e momenti d'inerzia.

*Cinematica:* velocità e accelerazione di un punto e di un sistema rigido; metodi grafici per la risoluzione dei problemi di cinematica; tipi principali di legge del moto.

*Statica:* vincoli e reazioni vincolari; gradi di libertà di un sistema, equazioni di equilibrio: applicazioni delle equazioni di equilibrio per la risoluzione dei problemi di statica.

*Dinamica:* forze di inerzia, riduzione delle forze d'inerzia: equazioni di equilibrio della dinamica: teorema dell'energia; quantità di moto e momento della quantità di moto.

*Forze agenti negli accoppiamenti:* aderenza e attrito, attrito nei perni: impuntamento; attrito volvente, rendimenti dei meccanismi; urti.

*La trasmissione del moto:* giunti, cinghie, catene, funi, paranchi di sollevamento; ingranaggi cilindrici a denti dritti ed elicoidali, ingranaggi conici a denti dritti, forze scambiate negli ingranaggi; rotismi ad assi fissi, riduzione dei momenti di inerzia; rotismi epicicloidali semplici e composti, differenziale; vite e madrevite; vite senza fine e ruote elicoidali; vite a circolazione di sfere; forze scambiate nelle viti; camme; meccanismi per la trasformazione di un moto continuo in un moto intermittente e in un moto alternativo; freni a tamburo, a disco e a nastro; lavoro dissipato nei freni; frizioni a disco, centrifughe; cuscinetti a rotolamento e a strisciamento.

*I sistemi meccanici:* accoppiamento tra motori e macchine operatrici; sistemi oscillanti (oscillazioni libere e forzate); sistemi giroscopici.

### ESERCITAZIONI.

Nel corso delle esercitazioni vengono svolti esempi illustrativi degli argomenti del corso, con particolare riferimento ad applicazioni pratiche.

### BIBLIOGRAFIA

Jacazio, Piombo, *Meccanica applicata alle macchine*, vol. 1 e 2, Levrotto & Bella, Torino.

Ferraresi, Raparelli, *Appunti di meccanica applicata*, CLUT, Torino.

Jacazio, Piombo, *Esercizi di meccanica applicata alle macchine*, Levrotto & Bella, Torino.

## E 5340    **Struttura della materia**

Anno: periodo 2:2    Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 8

Prof. Piero Mazzetti (Fisica)

REQUISITI. *Fisica 2.*

### PROGRAMMA

*Introduzione sulla meccanica ondulatoria.*

Meccanica classica – meccanica ondulatoria. Principio di indeterminazione e descrizione probabilistica dei processi fisici. Equazione di Schrödinger e postulati fondamentali.

*Concetti fondamentali di meccanica statistica.*

Spazio delle fasi e teorema di Liouville. Statistiche di Boltzman–Gibbs, di Fermi–Dirac e di Bose–Einstein. Teorema di equipartizione e relazioni tra meccanica statistica e termodinamica classica. Ordine e disordine nelle leghe binarie: entropia di mescolamento e diagrammi di stato.

*Struttura dei solidi cristallini.*

Legami interatomici, dipoli, correlazioni tra legami e materiali corrispondenti (es.: solidi ionici, covalenti, metallici). Reticoli cristallini, vettori di base, esempi di strutture cristalline semplici: *bcc*, *fcc*, *hcp*, ..., elementi di simmetria. Reticolo reciproco, proprietà generali, indici di Miller. Numero di coordinazione, anisotropia. Diffrazione dei raggi X e dei neutroni e determinazione roentgenografica della struttura dei solidi. Teorema di Bloch.

*Proprietà vibrazionali dei solidi.*

L'approssimazione armonica, modi normali, legge di dispersione, branche acustiche e branche ottiche. Fononi, statistica dei fononi, calore specifico fononico nelle approssimazioni di Einstein e di Debye. Effetti anarmonici: interazione fonone–fonone, conducibilità termica, dilatazione termica.

*Proprietà elettroniche dei solidi.*

Elettroni liberi nei metalli, superfici a energia costante, superficie di Fermi. Effetti di un potenziale periodico su un gas di elettroni liberi: zone di Brillouin, mescolamento degli stati a bordo zona, bande di energia proibite. Struttura a bande per metalli, semiconduttori, isolanti.

*Difetti nei solidi.*

Difetti dei materiali; difetti puntiformi: vacanze, autointerstitiali, divacanze; difetti lineari: dislocazioni a spigolo, a vite, complesse. Origine, movimento, moltiplicazione, interazioni delle dislocazioni.

*Proprietà magnetiche dei solidi.*

Hamiltoniana di un gas di elettroni in campo magnetico. Diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo nei solidi. Teoria di Weiss e di Heisenberg del ferromagnetismo. Antiferromagnetismo e ferrimagnetismo.

*Proprietà ottiche dei solidi.*

Risposta dielettrica, riflettività e assorbimento ottico. Transizioni interbanda. Eccitoni. Effetto Raman nei cristalli. Centri di colore.

## E 1710 Elettronica applicata

Anno: periodo 3:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 4

Prof. Maurizio Zamboni (Elettronica)

Il corso intende fornire i principi base dell'elettronica, con particolare riferimento alle applicazioni dei componenti e dei sistemi elettronici soprattutto in relazione alle loro applicazioni in ambiente industriale.

**REQUISITI.** Elettrotecnica base, variabili complesse, doppi bipoli. Serie di Fourier.

### PROGRAMMA

Richiami di elettrotecnica di base. Analisi di reti nel dominio del tempo e della frequenza. Analisi di transistori.

Componenti passivi ed attivi: concetto di modello elettrico. Resistenze, induttanze, condensatori; diodi; transistori.

Amplificatori: classificazione ed impiego, reazione positiva e negativa. Amplificatori operazionali.

Oscillatori. Circuiti non lineari. Applicazioni con diodi e amplificatori operazionali. Alimentatori e regolatori.

Acquisizione dati: definizione di conversione digitale/analogica e analogica/digitale. Convertitori A/D e D/A. *Sample & hold*. Sistemi di acquisizione dati.

Elaboratori elettronici: cenni all'algebra di Boole, circuiti logici combinatori e sequenziali. Famiglie logiche bipolari e MOS, organizzazione di un elaboratore, descrizione di una unità centrale integrata. Cenni sui linguaggi e sui sistemi operativi.

### ESERCITAZIONI.

Le esercitazioni riguardano l'approfondimento dei concetti definiti a lezione e portano al progetto di semplici circuiti esemplificativi.

### BIBLIOGRAFIA

J. Millman, A. Grabel, *Microelectronics*, McGraw-Hill, 1987.

## E 4590      **Scienza dei materiali**

Anno:periodo 3:1    Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 24 (settimanali 6/2)

Prof. Carlo Gianoglio (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Obiettivo del corso è la descrizione delle caratteristiche e delle proprietà dei materiali, sviluppando le nozioni su base unitaria ed integrata per evitare una trattazione delle varie classi (metalli, ceramici, polimeri) come entità separate e a sé stanti. L'approccio consente di mettere in luce le eventuali sinergie tra materiali di natura diversa; ciò avviene ad esempio nei composti, dove l'esaltazione delle caratteristiche positive di ciascun costituente permette la produzione di un manufatto con proprietà specifiche migliori di quelle dei singoli componenti. Infine, viene analizzato il comportamento dei materiali alle sollecitazioni meccaniche e al degrado in opera.

**REQUISITI.** *Chimica, Struttura della materia.*

### **PROGRAMMA**

Classificazioni, proprietà ed utilizzo dei materiali.

Microstruttura, metodi di caratterizzazione, disponibilità e problemi di riciclaggio.

Correlazione tra interazioni atomiche, struttura e caratteristiche macroscopiche.

Notazione dei piani reticolari mediante gli indici di Miller; notazione delle direzioni.

Principali strutture cristalline dei materiali metallici, dei solidi ionici e dei composti covalenti. Solidi molecolari; configurazione spaziale e struttura reticolare dei materiali polimerici.

Comportamento elastico del solido isotropo. Deformazione elastica a trazione e a compressione. Relazione tra i diversi moduli elastici. Resistenza teorica a trazione ed energia di rottura. Comportamento visco-elastico.

Difetti puntiformi e lineari nelle strutture cristalline. Difetti di superficie e di volume.

Generalità e deduzione sperimentale dei diagrammi di fase. Solubilità completa o parziale allo stato solido. Fasi intermedie. Esempi di diagrammi di fase binari e ternari.

Fenomeni associati alle trasformazioni di fase. Trasformazioni ordine-disordine; diffusione allo stato solido; leggi di Fick. Nucleazione e accrescimento delle fasi.

Diagrammi TTT. Trasformazioni in assenza di diffusione e per decomposizione spinodale. Trasformazioni liquido-solido nei metalli puri e nei polimeri puri.

Comportamento meccanico dei materiali. Resistenza a trazione ed energia di deformazione. Influenza delle dislocazioni e delle inclusioni sulla plasticità. Fenomeni di rafforzamento. Deformazione plastica a bassa ed ad alta temperatura. Frattura fragile e duttile.

Proprietà fisiche dei materiali. Conduttori, semiconduttori e superconduttori elettrici.

Meccanismi della conduzione termica. Classificazione magnetica dei materiali.

Proprietà cromatiche dei materiali ceramici e polimerici. Caratteristiche ottiche dei metalli e dei semiconduttori.

Meccanismi di degradazione e d'invecchiamento dei materiali metallici, polimerici e ceramici.

### **ESERCITAZIONI.**

Oltre a esercitazioni con applicazioni numeriche degli argomenti di lezione sono previste esercitazioni sperimentali di laboratorio, in particolare su determinazioni diffrattometriche su solidi cristallini e su caratteristiche meccaniche dei materiali.

### **BIBLIOGRAFIA**

W. Kurz, J.P. Mercier, G. Zambelli, *Introduzione alla scienza dei materiali*, Hoepli.

## E 4600    Scienza delle costruzioni

Anno: periodo 3:1    Impegno (ore settimanali): lezioni 4 esercitazioni 4

Prof. Franco Algotino (Ing. strutturale)

Il corso intende fornire i fondamenti della teoria dell'elasticità, della teoria delle travi inflesse e dei problemi della stabilità dell'equilibrio; il corso illustra taluni aspetti applicativi al fine di far conoscere la problematica tecnica legata alla resistenza dei materiali.

**REQUISITI.** *Analisi matematica. Fisica.*

### PROGRAMMA

Richiami di statica e di geometria delle aree.

Elementi strutturali. Azioni sulle strutture.

Equilibrio di forze e coppie. Caratteristiche di sollecitazione.

Deformazione di travi inflesse.

Principio dei lavori virtuali. Strutture iperstatiche.

Analisi della deformazione e dello stato di tensione. Problema di Saint Venant.

Casi semplici di sollecitazione: trazione, flessione. Problema della sezione parzializzata.

Il cemento armato. Cenni di precompresso.

La torsione. Molle. Alberi di trasmissione.

Teoria approssimata del taglio.

Problemi di instabilità per carico di punta.

Tensioni composte.

Tensioni ideali e limiti di resistenza.

Teorie recenti sulla rottura dei materiali e delle strutture.

### ESERCITAZIONI.

Applicazioni numeriche ed analitiche; accertamenti. In laboratorio verranno presentate alcune prove meccaniche con la relativa strumentazione di misura.

## E 1441 Dispositivi elettronici 1

Anno: periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 (settimanali 6/4)

Prof. Carlo Naldi (Elettronica)

Il corso è fondamentale per l'orientamento materiali e tecnologie dei componenti elettronici. Partendo dai concetti fondamentali della fisica dei solidi, si ricavano le principali caratteristiche dei materiali semiconduttori. Successivamente vengono descritti i più importanti dispositivi a semiconduttore per sistemi elettronici e si forniscono nozioni di base sulla tecnologia dei circuiti integrati.

### PROGRAMMA

Cenni di fisica dei solidi: equazione Schrödinger, barriera di potenziale: effetto *tunnel*; struttura cristallina, legami covalenti; semiconduttori IV e III-V gruppo.

Fenomeni di trasporto: teoria delle bande di energia nei cristalli; fenomeni di generazione e ricombinazione; meccanismo della conduzione, concetti di massa efficace e di fonone. Funzione distribuzione degli elettroni. Resistori reali. Tecnologia del *film* sottile e del *film* spesso, circuiti ibridi.

Teoria elementare dei semiconduttori: semiconduttore intrinseco e semiconduttori drogati; fenomeno di diffusione. Equazione di continuità.

Tecnologia dei circuiti integrati: circuiti integrati ibridi: substrati, componenti passivi. Tecnologia planare: fasi del processo. Crescita del monocristallo (metodo Czochralski). Ossidazione, litografia, attacco chimico. Impiantazione ionica, diffusione e solubilità dei droganti. Processi CVD: crescita epitassiale, deposizione di polisilicio e di ossidi. Deposizione di strati metallici. Cenni sulla tecnologia dell'arseniuro di gallio. Interconnessioni metalliche, elettromigrazione, *packaging* e *testing*. Resistori integrati.

Giunzione metallo-semiconduttore: barriera di Schottky; capacità differenziale.

Tecnica di misura  $C(V)$  dei profili di drogaggio; diodo Schottky e contatti ohmici.

Giunzione *p-n*: giunzione all'equilibrio, capacità di transizione; correnti nel diodo; diodo reale: effetto della temperatura. Tecnologia dei diodi integrati: isole, defocalizzazione della corrente, strato sepolto. Comportamento dinamico del diodo: modello a controllo di carica. Fenomeni di rottura: effetto Zener, effetto valanga. Diodi Zener e diodi *tunnel*.

Transistore a effetto di campo a giunzione.

Transistore bipolare: effetto transistore; regioni di funzionamento; modelli di Ebers-Moll e modelli SPICE. Effetto Early. Tempi di commutazione, modello a controllo di carica. Effetto della resistenza distribuita di base. *Breakdown* a valanga e perforazione diretta. Tecnologia dei transistori integrati: transistore planare *nnp*; per applicazioni analogiche e digitali; transistore parassita, transistori *pnp*. Modello di processo; transistore Schottky e isolamento a ossido.

MOSFET: diodo MIS: inversione di popolazione, tensione di soglia di diodi ideali e reali. Modelli analitici dei MOS. MOS ad arricchimento e a svuotamento. Tecniche per il controllo della tensione di soglia. Tecnologia *metal gate* e *silicon-gate* (NMOS). FET di potenza: VMOS, EXFET.

Tecnologia VLSI. Ciclo di progetto dei circuiti integrati: livelli di astrazione. Metodologie di progetto VLSI: *full custom*, *standard cell*, *gate array*. Tecniche di scalamento e limiti di integrazione. Interfaccia progettista-fabbrica: regole di progetto. Invertitori.

Cenni sull'affidabilità dei componenti.

**BIBLIOGRAFIA.** S.M. Sze, *Dispositivi a semiconduttore*, Hoepli, Milano. R.S. Muller, T.I. Kamins, *Dispositivi elettronici*, 2. ed., Bollati-Boringhieri, Torino, 1993.

*Tabelle e grafici dei materiali e componenti per l'elettronica*, CELID, 1991.

## E 2060 Fisica tecnica

Anno: periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 40 laboratori 4 (settimanali 4/4)

Prof. Michele Cali (Energetica)

Nella prima parte del corso si illustrano i fondamenti della termodinamica dei corpi omogenei applicata ai sistemi che rivestono interesse per gli ingegneri. Nella seconda parte si studia la termodinamica dei sistemi continui applicata ai fenomeni di trasmissione del calore. Insieme ai fenomeni teorici si forniscono gli strumenti di analisi e di calcolo per sviluppare in modo completo progetti reali.

### PROGRAMMA

#### *Termodinamica.*

Definizioni. Lavoro e calore. Il primo e il secondo principio della termodinamica per sistemi chiusi e aperti. Energia interna, Entalpia ed entropia.

Il teorema dell'energia. Le relazioni analitiche fondamentali. Le trasformazioni di Joule e di Joule-Thomson. Le equazioni di stato principali. I cambiamenti di stato.

Rappresentazioni e diagrammi termodinamici. I cicli ideali a gas e vapore di Stirling, Otto, Diesel, Joule, Rankine, e Hirn. Le centrali termoelettriche e gli impianti di cogenerazione. Cicli inversi per frigoriferi e pompe di calore. Miscele di gas e sostanze condensabili e climatizzazione ambientale.

La termodinamica dei sistemi continui. Definizioni e proprietà matematiche. Le equazioni fondamentali in forma differenziale e integrale per la massa, quantità di moto, energia ed entropia.

#### *Trasmissione del calore, fluidodinamica e termocinetica.*

La conduzione del calore. Le equazioni fondamentali e le proprietà termiche dei materiali. I metodi analitici e numerici: le alette. Gli effetti termoelettrici.

#### *Il moto dei fluidi isotermi.*

Viscosità. Regimi di moto laminare e turbolento. Strato limite delle velocità. Attrito sulle lastre piane e nei condotti. Efflussi di Fanno e Raleygh. Efflusso attraverso gli ugelli convergenti e divergenti. Le equazioni per i fluidi viscosi. Equazioni di Navier-Stokes.

#### *La convezione.*

La convezione forzata e naturale. Il metodo delle analogie, teoria dimensionale. Le relazioni empiriche più comuni.

#### *L'irraggiamento.*

Il corpo nero. Le proprietà emissive della materia ed i corpi grigi. Irraggiamento tra corpi neri e grigi. L'utilizzazione dell'energia solare.

*I metodi numerici della trasmissione del calore.* Il metodo degli elementi finiti.

### ESERCITAZIONI

Esercizi su:

Termodinamica: calcolo dei cicli termodinamici per una centrale di cogenerazione a gas (ciclo Joule) e a vapore (ciclo Rankine in controcompressione).

Trasmissione del calore: calcolo termico e fluidodinamico di un sistema termico con il metodo degli elementi finiti.

Laboratorio: misure psicometriche e di conduttività termica.

### BIBLIOGRAFIA

C. Boffa, P. Gregorio, *Elementi di fisica tecnica*, Levrotto & Bella, Torino, 1974.

C. Bonacina, A. Cavallini, L. Mattarolo, *Trasmissione del calore*, CLEUP, Padova, 1985.

P. Brunelli, C. Codegone, *Trattato di fisica tecnica*, Giorgio, Torino, 1974.

- A. Cavallini, L. Mattarolo, *Termodinamica applicata*, CLEUP, Padova, 1990.  
 P. Gregorio, *Esercizi di fisica tecnica*, Levrotto & Bella.  
 V.A. Kirillin, V.V. Sycev, E. Sejdlin, *Termodinamica tecnica*, Editori Riuniti, Roma, 1980.  
 D.R. Owen, *A first course in the mathematical foundations of thermodynamics*, Springer, New York, 1984.  
 M.W. Zemansky, M.M. Abbott, H.C. Van Ness, *Fondamenti di termodinamica per ingegneri*, Zanichelli, Bologna.

## E 3420 Metallurgia

Anno:periodo 3,4:2 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 10 laboratori 20 (settimanali 6/2)

Prof. Aurelio Burdese (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha lo scopo di fornire criteri razionali di scelta e di controllo dei materiali metallici ed in questo senso affianca le discipline relative alla progettazione, costruzione e conduzione di impianti chimici e meccanici.

Il corso si svolgerà con lezioni ed esercitazioni; verso la fine del corso sono previste visite a stabilimenti.

**REQUISITI.** Oltre ai corsi propedeutici tradizionali (chimica e fisica) è opportuno avere acquisito nozioni di *Termodinamica dell'ingegneria chimica*, *Tecnologia dei materiali e chimica applicata*, *Scienza delle costruzioni*.

### PROGRAMMA

#### *Metallurgia generale.*

Struttura dei metalli; riflessi dei diagrammi di stato dei sistemi metallici sulle caratteristiche delle leghe corrispondenti; proprietà meccaniche, chimiche (corrosione, ossidazione ad alta temperatura), elettriche e magnetiche; fenomeni di scorrimento viscoso a caldo; metallografia ottica e roentgenografia; macrografia; frattografia.

#### *Tecnologia dei materiali metallici.*

Processi ed impianti di fabbricazione; lavorazione plastica e all'utensile; sistemi di giunzione; trattamenti termici; ricotture, normalizzazione, tempra ordinaria, tempre speciali, rinvenimento; tempra di solubilizzazione e fenomeni di invecchiamento; cementazione; nitrurazione; impianti per trattamenti termochimici; previsione delle proprietà meccaniche dopo trattamento.

#### *Materiali ferrosi.*

Acciai al carbonio; classificazione; usi; caratteristiche strutturali e di impiego degli acciai legati; leghe per turbine; materiali metalloceramici.

#### *Leghe e metalli non ferrosi.*

Pame; ottoni; bronzi comuni e speciali; cupralluminio; alluminio; raffinal; leghe di alluminio per getto e per trattamento termico; magnesio, titanio; zinco; piombo; nichel; cobalto; cromo; manganese; niobio; vanadio; silicio; germanio; lantanidi; attinidi; materiali compositi a matrice metallica.

### ESERCITAZIONI

Prove fisico-meccaniche. Metallografia ottica e roentgenografica. Calcoli di temprabilità degli acciai e di diffusione superficiale di interstiziali in presenza di ambienti carburanti e carbonitruranti.

### LABORATORI

Prove fisico-meccaniche. Metallografia ottica e roentgenografica. Frattografia.

## BIBLIOGRAFIA

- A. Burdese, *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici*, UTET, Torino, 1992.  
 A.H. Cottrell, *An introduction to metallurgy*, Arnold, London.  
 A.R. Bailey, *A text-book of metallurgy*, McMillan, London.  
 F. Dieter, *Mechanical metallurgy*, McGraw-Hill - Kogakusha, Tokio.

## E 4680      **Scienza e tecnologia dei materiali polimerici**

Anno:periodo 3:2    Impegno (ore): lezioni 76 esercitazioni 14 (settimanali 8)

Prof. Aldo Priola (Scienza dei materiali e ing. chimica)

## PROGRAMMA

*Aspetti generali.* Legami chimici e strutture molecolari organiche. Stereochimica. Monomeri e reazioni di polimerizzazione.

*Struttura e caratterizzazione della macromolecole.* Pesi molecolari e loro distribuzione. Forze di coesione intermolecolari, regolarità della struttura, flessibilità della catena polimerica.

*Struttura supermolecolare:* morfologia dello stato amorfo e cristallino. Reticoli polimerici, densità di reticolazione. Fenomeni di transizione nei polimeri.

*Principali tipi di polimeri industriali.* Polimeri di policondensazione e poliaddizione. Processi di produzione dei principali polimeri termoplastici, fibre ed elastomeri. Proprietà ed applicazioni.

*Proprietà termiche dei polimeri amorfi e cristallini.* Fusione e transizione vetrosa, capacità termica, dilatazione, conducibilità.

*Proprietà meccaniche.* Resistenza a trazione, al taglio, a compressione. Resilienza. Resistenza a fatica. Comportamento visco-elastico dei polimeri. Reologia dei polimeri fusi. Variazione delle proprietà meccaniche con la temperatura. Proprietà dinamo-mechaniche. Comportamento elastico delle gomme.

*Proprietà elettriche.* Conducibilità, costante dielettrica, fattore di dissipazione. Polimeri semiconduttori e conduttori. Impiego dei polimeri in microelettronica.

*Proprietà ottiche.* Indice di rifrazione, trasparenza, fluorescenza, fosforescenza.

*Additivi e agenti modificanti nei materiali polimerici.* Plastificanti, cariche, agenti rinforzanti. Influenza sulle proprietà dei materiali.

*Processi di invecchiamento dei polimeri.* Reazioni di degradazione. Impiego di agenti stabilizzanti.

*Comportamento al fuoco dei materiali polimerici.* Additivi antifiama.

*Tecnologie di trasformazione dei polimeri termoplastici:* iniezione, estrusione, termoformatura.

*Polimeri termoindurenti:* tipi di resine e tecnologie di trasformazione.

Tecnologia delle gomme. Polimeri per vernici e adesivi.

Materiali polimerici espansi. Leghe polimeriche. Materiali compositi: tipi di matrici e fibre di rinforzo. Tecnologie di produzione.

Tecnologie di riciclo dei materiali polimerici: smaltimento dei rifiuti plastici.

## ESERCITAZIONI.

Sono previste esercitazioni sia sperimentali che di applicazioni numeriche sugli argomenti svolti a lezione. Visite ad impianti di trasformazione delle materie plastiche.

## E 1530 Economia ed organizzazione aziendale

Anno: periodo 4:1

Prof. Luigi Prosperetti (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

### PROGRAMMA

#### *Cenni di microeconomia.*

Domanda, offerta, mercato e prezzi. Teoria della domanda e del consumatore. Produzione: costi e decisioni produttive dell'impresa. Forme di mercato. I mercati dei fattori produttivi.

#### *Analisi dell'azienda e dei suoi rapporti con l'ambiente.*

L'azienda come sistema aperto. Tipologie produttive. Obiettivi e politiche aziendali. Le funzioni aziendali e le relative strutture. Strategie di cambiamento, di *marketing*, di prodotto, di ricerca e sviluppo, finanziarie.

#### *Analisi previsionale.*

Metodi di previsione delle vendite. Metodo della regressione. Analisi di serie storiche e relativa destagionalizzazione. Modelli autoproiettivi: media mobile e livellamento esponenziale. Verifica della validità di un modello nel tempo.

#### *Fase decisionale.*

Decisioni: strategie, amministrative, operative. Le decisioni di investimento: *discounted cash flow*, *pay-back period*. *International rate of return*. Criterio dell'equivalente annuo. Metodo del *life cycle cost*. Metodo dell'efficacia di costo. Metodo di simulazione. Investimenti in periodi di inflazione. Alberi di decisione. Analisi di sensitività. Piano di rimborso di un finanziamento. Decisioni di dimensionamento di servizi aziendali.

#### *Pianificazione aziendale e programmazione della produzione.*

Piani commerciale, della produzione, delle risorse. Programmazione della produzione. Fasi della programmazione operativa. *Planning routing*; *scheduling*; *dispatching*; *control*. PP - MPS - MRP - CRP. Analisi di *make or buy*. *Mix* ottimale di produzione. Lotti economici. Diagrammi di Gantt. Programmazione temporale. Metodi di assegnazione ottimale. Metodi di ordinamento sequenziale ottimale. Programmazione di un progetto complesso con tecnica PERT e PERT Cost. Studio dei tempi di esecuzione: determinazione del tempo normale e dei tempi cicli. Abbinamento fra più lavorazioni. Metodo delle osservazioni istantanee per calcolare il tempo *standard* di produzione.

#### *Controllo qualitativo della produzione.*

Costi e strumenti. Diagramma di Pareto. Diagramma causa-effetto. Carte di controllo e piani di campionamento per variabili e per attributi. Metodologia *problem solving*. Circoli di qualità.

#### *Controllo economico della produzione.*

Costo di produzione. Contabilità di processo. Contabilità per commessa. Contabilità a costi *standard*. Analisi degli scostamenti per valutare l'efficienza gestionale. La formulazione di un preventivo. Il bilancio aziendale; situazione patrimoniale e conto economico. Gli indici di bilancio. La valutazione delle aziende attraverso i dati di bilancio. L'equilibrio economico finanziario. Analisi di *break even*. Monoprodotto e multiprodotto, lineare e non lineare. Il *budget* d'esercizio. Misure per migliorare il profitto: l'analisi del valore e lo *zero base budgeting*.

#### *Logistica aziendale: il sistema logistico integrato.*

La gestione dei materiali a fabbisogno e a scorta. La gestione scorte in un sistema ad un solo livello o a più livelli. Modelli dinamici di rischio nella gestione delle scorte. L'approccio *just in time* e il *Kanban system*. Soluzione e problemi ubicazionali interni ed esterni. Programmazione dei trasporti di distribuzione.

### ESERCITAZIONI.

Nelle esercitazioni vengono presentati dei casi da discutere e risolvere in gruppo. Si tratta essenzialmente di problemi decisionali anche in situazioni di rischio.

## E 3110 Macchine

Anno: periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 52 (settimanali 6/4)

Prof. Matteo Andriano (Energetica)

Nel corso vengono esposti i principi fluidodinamici necessari ad una corretta comprensione del funzionamento delle macchine e viene descritto il funzionamento dei tipi di macchine più comuni, in modo da preparare l'allievo ad essere, nella sua futura attività professionale, un utilizzatore accorto sia nella scelta delle macchine stesse, sia nel loro esercizio. A questo scopo viene dato lo spazio necessario ai problemi di scelta e di installazione.

**REQUISITI.** *Fisica tecnica. Elementi di meccanica teorica ed applicata.*

### PROGRAMMA

Considerazioni generali sulle macchine motrici e operatrici a fluido. Classificazioni. Richiami di termodinamica.

Considerazioni generali sulle turbomacchine. Principi fluidodinamici e termodinamici. Studio delle trasformazioni ideali e reali nei condotti. Cicli e schemi di impianti a vapore, semplici, combinati, a recupero, ad accumulo per produzione di energia e calore.

Le turbine a vapore semplici e multiple, ad azione e a reazione, assiali e radiali; regolazione; cenni costruttivi e problemi meccanici tipici.

La condensazione: possibilità e mezzi; condensatori a superficie e a miscela.

Turbocompressori: studio del funzionamento e diagrammi caratteristici; problemi di installazione; regolazione.

Ventilatori. Compressori volumetrici alternativi e rotativi: funzionamento; regolazione.

Turbine a gas: cicli termodinamici semplici e complessi; organizzazione meccanica e regolazione. Turbine idrauliche tipiche.

Le pompe volumetriche e quelle centrifughe: campi di impiego; caratteristiche di funzionamento; problemi di scelta e installazione; la cavitazione.

Trasmissioni idrauliche.

I motori alternativi a combustione interna: studio dei cicli; funzionamento dei motori ad accensione spontanea e comandata; la combustione; la regolazione.

**ESERCITAZIONI.** Le esercitazioni sono applicazioni numeriche, a casi reali, dei concetti sviluppati a lezione.

## E 3670 Misure elettroniche

Anno: periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 24 laboratori 24 (settimanali 4/2/2)

Prof. Andrea De Marchi (Elettronica)

Il "razionale" sul quale si fonda questa proposta è che l'ingegnere esperto in scienza dei materiali oltre a dover conoscere, sia pure solo come utente, la strumentazione fondamentale e quella specifica del settore di attività, è frequentemente coinvolto in tre tipi di attività tra loro diverse.

Nelle ricerche associate ai materiali, si tratta di determinarne le varie proprietà, con una corretta impostazione metodologica, al fine di condurre correttamente la misura e di interpretarne i risultati. I materiali hanno un senso solo se le loro proprietà sono univocamente determinate. Sono quindi necessarie misure accurate dei parametri più disparati, dalla costante dielettrica, alle proprietà ottiche e termofisiche.

Una volta definite le proprietà, si tratta di passare alla produzione, durante la quale si devono costantemente controllare alcuni parametri, in particolare per le grandezze "esterne" di influenza, quali umidità, temperatura, e quindi usando strumentazione di tipo diverso da quella adottata in ricerca, non fosse altro perché la misura diviene a volte di carattere statistico e comunque viene sempre protratta nel tempo.

Una terza parte della attività, in particolare alla fine della produzione ed in accettazione, risiede nei collaudi e certificazione di componenti e di sistemi.

È pertanto opportuno che l'allievo ingegnere, senza ovviamente divenire un esperto in questo settore, conosca il significato di una norma, di una "raccomandazione", e la struttura nazionale, comunitaria ed internazionale che organizza e garantisce la rete delle certificazioni.

### PROGRAMMA

#### *Metrologia.*

Impostazione del sistema di misure SI, derivazione delle unità e definizione dei campioni delle grandezze usate dall'ingegnere dei materiali. Enti scientifici, tecnici ed amministrativi nazionali ed internazionali. Valutazione e propagazione degli errori nelle misure indirette.

#### *Strumenti.*

I ferri del mestiere. Oscilloscopio. Voltmetro analogico e numerico. Convertitori A/D e D/A. Contatore. Generatori. Cenni sui sistemi automatici di misura e sulla normativa esistente per questi sistemi.

#### *Misure particolari sui materiali.*

Igrometria, barometria, con apparati elettrici. Misure magnetiche. Misure sui dielettrici. Cenni sulle più importanti misure meccaniche e termiche. Proprietà fotometriche dei materiali.

#### *Altre "misure" e "norme tecniche".*

Cenni di misure e nozioni di affidabilità. Il problema delle norme tecniche internazionali (IEC - ISO, CODATA, ecc.) e settoriali (MIL, UNI, ecc.). Enti nazionali ed internazionali di calibrazione e di certificazione. I "riconoscimenti" tra i servizi nazionali di calibrazione. Il SIT (Servizio Italiano di Taratura).

## E 3180 Materiali metallici

(sostituito da Metallurgia 93/94)

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 8

Docente da nominare

### PROGRAMMA

Riflessi sulle proprietà delle leghe del legame metallico, del tipo delle fasi presenti in lega, del loro reticolo cristallino e delle imperfezioni reticolari.

Interpretazione metallurgica dei principali diagrammi di stato dei sistemi metallici e conseguenti considerazioni e previsioni su proprietà e caratteristiche di impiego delle leghe corrispondenti.

Comportamento dei materiali metallici alle sollecitazioni nelle possibili condizioni di esercizio, in differenti condizioni di temperatura ed ambiente.

Influenza dei metodi di produzione e di trattamento sulle caratteristiche del semilavorato.

Trattamenti termici sui materiali metallici. Definizione, tecnica e modalità dei trattamenti. Trasformazioni di fase, loro cinetica e strutture conseguenti a trattamenti termici.

Trattamenti chimico-termici e di indurimento superficiale. Trattamento di protezione superficiale dei metalli.

Acciai comuni e legati. Classificazioni unificate. Effetto degli elementi leganti sulle caratteristiche di impiego degli acciai. Tipologia degli acciai e delle leghe speciali in funzione dei campi di utilizzazione pratica. Materiali metalloceramici.

Ghise per getto. Ghise a grafite lamellare, nodulare, sferoidale. Ghise legate e trattamenti termici delle ghise.

Rame, ottoni, bronzi, bronzi speciali ed altre leghe a base di rame.

Alluminio, leghe per getto e leghe per trattamento termico.

Magnesio, titanio, zinco, piombo e loro leghe.

Cromo, nichel, manganese; altri metalli di transizione e leghe per impieghi particolari.

Silicio, germanio. Metalli nobili. Metalli alcalini. Lantanidi e attinidi.

Materiali compositi a matrice metallica. Aderenza tra lega base e materiale di rinforzo.

Comportamento alle sollecitazioni. Accoppiamenti bimetallici.

### BIBLIOGRAFIA

A. Burdese, *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici*, UTET, 1992.

## E 3560 Microelettronica

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 24 laboratori 20 (settimanali 4/2/2)

Prof. Francesco Gregoretti (Elettronica)

Il corso è essenziale per la formazione progettistico-circuitale di circuiti integrati, ed è organizzato in modo da fornire agli allievi le nozioni fondamentali sulla progettazione di circuiti elettronici integrati, con particolare enfasi sui circuiti logici a grande scala di integrazione (VLSI).

Durante le esercitazioni, anche di tipo sperimentale, viene svolto dagli allievi un ciclo completo di progettazione di tutto un circuito integrato o di una parte significativa dello stesso.

### REQUISITI.

*Dispositivi elettronici. Teoria dei circuiti elettronici. Elettronica applicata.*

**PROGRAMMA**

Cenni di tecnologia, ciclo di fabbricazione. Componenti integrabili, caratteristiche e modelli dei dispositivi e delle interconnessioni.

Circuiti elementari, caratteristiche statiche e dinamiche. Circuiti digitali combinatori, di pilotaggio, di ingresso/uscita, circuiti di protezione.

Logiche regolari, programmabili, *array* e librerie di celle. Celle di memoria a sola lettura, a lettura/scrittura statiche e dinamiche, programmabili.

Logiche dinamiche, fenomeni di *boot-strapping* e *latch-up*.

Architettura interna, *floor planning*, distribuzione delle alimentazioni e dei segnali di cadenza.

Ciclo di progetto, strumenti per la progettazione assistita da elaboratore (CAD), editor grafici, simulatori elettrici e logici; generatori automatici di celle, *router* e piazzatori di celle.

Circuiti analogici. Dissipazione di potenza statica e dinamica. Cenni di misure, collaudo, *testing*.

Problemi relativi allo scalamento e cenni sulle tecnologie e sui componenti GaAs, e sull'integrazione a livello di *wafer*.

**ESERCITAZIONI.**

Le esercitazioni seguono gli argomenti svolti a lezione e si basano sullo sviluppo da parte degli allievi di esercizi di calcolo e valutazione di circuiti semplici, e simulazioni a calcolatore sia elettriche sia logiche. Successivamente gli allievi verranno suddivisi in gruppi che eseguiranno il progetto completo di un circuito integrato.

**E 4370 Proprietà termofisiche dei materiali**

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 50 laboratori 40

*Docente da nominare*

Il corso ha lo scopo di dare all'allievo gli elementi per una conoscenza dei meccanismi di trasporto nei materiali in funzione delle loro caratteristiche intrinseche (es.: struttura cristallina, amorfa, composita, ecc.) e quindi individuare e definire le proprietà termofisiche con le relative metodologie di misura.

**REQUISITI.** *Fisica tecnica, Struttura della materia*

**PROGRAMMA**

Teoria della conduzione termica nei materiali (metallici, ceramici, compositi, strati sottili ecc.).

Teoria della trasmissione per radiazione termica nei materiali semitrasparenti.

Teoria della trasmissione e della diffusione dei gas nei materiali porosi.

Definizione delle proprietà termofisiche, delle proprietà termo-ottiche di massa e superficiali e delle proprietà diffusive ai gas e relative metodologie di misura. In particolare sono prese in considerazione le seguenti proprietà:

- Proprietà termofisiche: capacità termica massica, conduttività termica, diffusività termica, effusività termica.
- Proprietà termo-ottiche delle superfici e dei materiali : emissività, assorbività, trasmittività, coefficiente di assorbimento, coefficiente di *scattering*, coefficiente di trasmissione, coefficiente di estensione.
- Proprietà termomeccaniche : coefficiente di dilatazione termica (CTE); coefficiente di dilatazione massica (CME).
- Varie: coefficienti di trasferimento di massa; influenza delle condizioni al contorno e degradazione delle proprietà.

## E 4630      **Scienza e tecnologia dei materiali ceramici**

Anno: periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 72 (settimanali 6)

Prof. Ignazio Amato (Scienza dei materiali e ing. chimica)

### PROGRAMMA

I difetti nei solidi e la diffusione delle vacanze. La densificazione per sinterizzazione. La teoria della sinterizzazione. Le proprietà dei solidi sottoposti a sinterizzazione. Le caratteristiche dei sinterizzati. L'influenza dei gas occlusi e la regressione della densità. Sinterizzazione a più componenti solidi. Sinterizzazione in sistemi solido-liquido. Densificazione per pressatura a caldo.

I materiali ceramici ordinari: materie prime e processi di fabbricazione.

I refrattari ordinari e speciali: caratteristiche e modalità di impiego.

Materiali leganti. Calce, gesso, cemento: preparazione e caratteristiche chimico-fisiche. Meccanismi di idratazione. Cenni sui calcestruzzi.

Ceramici fini: caratteristiche, impieghi attuali, potenzialità del settore. I ceramici fini e lo sviluppo delle nuove tecnologie.

Le polveri neoceramiche: caratteristiche. Sintesi da soluzioni: sol-gel, combustione solvente. Sintesi in fase di vapore: condensazione (aerosol), reazione (plasma, laser).

Ceramici strutturali: il nitruro e il carburo di silicio. Allumina e zirconia tenacizzata. Boruri e siliciuri. Criteri di progettazione e prova per l'uso dei ceramici. Cermets.

Ceramici per rivestimento: criteri di progettazione. I materiali ceramici per rivestimento. Le tecniche: CVD, PVD, *sputtering*, implantazione ionica, plasma. Caratteristiche dei materiali rivestiti. Rivestimenti e struttura. La crescita epitassiale.

I materiali vetrosi ed i vetro-ceramici: caratteristiche ed applicazioni.

I materiali fibrosi di rinforzo. Meccanismo di azione dei rinforzi nei materiali compositi. Le fibre di vetro, le fibre di carbonio, le fibre ceramiche. Gli *wiskers*: proprietà e tecnologie. Criteri di progettazione e modalità di impiego dei compositi. I compositi a matrice ceramica.

I ceramici come utensili da taglio: meccanismi di degradazione e di usura. I carburi cementati. I rivestimenti ceramici dei carburi cementati. Utensili ceramici di nuova generazione: ceramici rinforzati. Utensili superduri: il nitruro di boro. Gli abrasivi.

I ceramici come lubrificanti solidi: grafite, solfuri, ossidi.

I ceramici con funzioni magnetiche: ferriti, granati, spinelli.

I ceramici con funzioni ottiche: materiali per laser.

I ceramici con funzioni chimiche: sensori, materiali per elettrodi.

I ceramici con funzioni biologiche: biovetri e allumina per implantazione.

I ceramici per la produzione di energia da fissione e da fusione.

I ceramici per applicazioni aerospaziali: le barriere termiche.

Neoceramici: impatto economico ed avanzamento tecnologico.

## E 0530 Campi elettromagnetici

Anno:periodo 5:1,2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 48 laboratori 8 (settimanali 6/4)

Prof. Rodolfo Zich, [1. periodo didattico]

Prof. Renato Orta (Elettronica) [2. periodo didattico]

Il corso ha lo scopo di fornire le basi teoriche per la comprensione dei fenomeni di propagazione libera e guidata di onde elettromagnetiche. Viene risolto il problema generale dell'irradiazione. Per quanto riguarda la propagazione guidata sono illustrati i tipi più comuni di guide d'onda.

REQUISITI. *Elettrotecnica, Analisi matematica 3, Fisica 2.*

### PROGRAMMA

Generalità. Spettro elettromagnetico e sua utilizzazione.

Equazioni di Maxwell e d'onda, nel dominio del tempo e della frequenza e teoremi generali.

Interazione fra campi elettromagnetici e mezzi materiali. Risposta in frequenza: dispersione e assorbimento. Fenomeni non lineari e cenni sulle applicazioni.

Soluzione delle equazioni di Maxwell in un mezzo omogeneo. Calcolo dei campi irradati come risposta di un sistema lineare. Problema omogeneo: onde piane, polarizzazione, relazione di impedenza.

Problema non omogeneo: funzione di trasferimento nello spazio  $k$ ; funzione di Green come risposta all'impulso del sistema elettromagnetico. Soluzione nello spazio  $r$  come convoluzione.

Propagazione guidata: circuiti a parametri distribuiti. Modello fenomenologico di linea di trasmissione, equazioni delle linee nel dominio del tempo e della frequenza e loro soluzione.

Analisi di circuiti. Uso della matrice *scattering* per caratterizzare componenti per alte frequenze.

Analisi di linee nel dominio del tempo. Linee dispersive chiuse su carichi adatti. Velocità di gruppo e condizioni di non distorsione. Analisi di distorsione di impulsi a banda stretta.

Linee non dispersive chiuse su carichi disadattati non dispersivi. Generalità su guide d'onda. Equazioni d'onda. Modi TM, TE, TEM, ibridi e loro proprietà. Linee modali, costanti di propagazione e impedenze modali, autofunzioni modali.

Esempi di guide d'onda per microonde. Guida metallica rettangolare e cavo assiale. Microstriscia, *stripline*, linee coplanari. Guide dielettriche. Strutture dielettriche stratificate e guida planare. Fibre ottiche, generalità.

ESERCITAZIONI. Esercitazioni in aula, in laboratorio e di calcolo al LAIB.

## E 0770 Componenti e circuiti ottici

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 80 (settimanali 8)

Prof. Renato Orta (Elettronica)

Il corso intende sviluppare argomenti legati allo studio e alla progettazione di componenti e dispositivi utilizzati nelle comunicazioni ottiche. L'approccio seguito è di tipo metodologico. Vengono discussi i principali metodi analitici e numerici impiegati nella simulazione dei circuiti ottici.

REQUISITI. *Campi elettromagnetici*

### PROGRAMMA

Guide d'onda a sezione trasversale non omogenea, formulazione di Marcuvitz—Schwinger. Determinazione delle autofunzioni modali a partire dalle componenti longitudinali. Proprietà di biortogonalità delle autofunzioni, calcolo dell'eccitazione dei modi. Analisi dei mezzi dielettrici isotropi stratificati con la tecnica delle linee modali vettoriali.

Propagazione di un campo specificato su un'apertura. Approssimazione di Fresnel a partire dalle rappresentazioni spettrale e spaziale.

Fasci gaussiani, propagazione e interazione con strutture dielettriche stratificate. Ottica geometrica, caustiche e teoria geometrica della diffrazione, lenti e specchi. Formalismo ABCD, guide a lenti. Risonatori chiusi e aperti.

Guida dielettrica planare, analisi con risonanza trasversale. Modi guidati e irradati, onde *leaky*. Applicazioni: accoppiatori a prisma, strati  $\lambda/4$  antiriflesso, strati ad alta riflettività.

Interferometri Fabry—Perot con dielettrico passivo e attivo. Strutture dielettriche stratificate periodiche, curve di dispersione. Riflettori di Bragg, birifrangenza di forma, teorema di Floquet. Linee non uniformi per studio di guide planari diffuse, metodi numerici e analitici (profilo lineare).

Metodo WKB e "metodo della funzione di confronto". Guide dielettriche tridimensionali: metodo dell'indice di rifrazione efficace e *beam propagation method*.

Mezzi anisotropi omogenei, superficie normale, ellissoide indice. Analisi di mezzi anisotropi stratificati, formalismo  $4 \times 4$ .

Fibre ottiche *step index* e *graded index*. Fenomeni di dispersione e attenuazione nelle fibre. Fenomeni non lineari, automodulazione di fase, solitoni.

Teoria dell'accoppiamento modale. Effetto elettro-ottico e acusto-ottico. Analisi di dispositivi ottico-integrati.

## E 1020 Costruzione e tecnologia del pneumatico e degli antivibranti

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 28 (settimanali 6/2)

Prof. Ignazio Amato (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di fornire le nozioni fondamentali sulla struttura, sulle caratteristiche e sul comportamento meccanico della gomma come materiale relativamente alle sue applicazioni più importanti (pneumatici, sistemi antivibranti, articoli tecnici). Sarà approfondito in particolare l'esame dei fattori che determinano le proprietà peculiari del materiale. Nella seconda parte saranno trattate le caratteristiche strutturali e la meccanica del pneumatico, il suo comportamento su strada e in prove di laboratorio nonché le proprietà dei sistemi antivibranti a base di elastomeri.

Il corso comprende lezioni, esercitazioni e visite di istruzione.

### PROGRAMMA

Premessa. I materiali polimerici: stato vetroso e stato gommoso, temperatura di transizione vetroso di un polimero.

Struttura e proprietà degli elastomeri più importanti. La gomma naturale. Gli elastomeri sintetici: SBR, poli-isoprene, polibutadiene. Elastomeri saturi: elastomeri oleoresistenti; elastomeri speciali.

Natura dell'elasticità della gomma. Il reticolo elastomerico ideale. Equazione gaussiana dell'elasticità della gomma ideale. Comportamento reale delle gomme. Proprietà viscoelastiche: misure dinamo-meccaniche.

La vulcanizzazione della gomma: condizioni sperimentali e andamento della reazione. I termoelastomeri. Principali classi di additivi e agenti rinforzanti: nerofumo, cariche, plastificanti. Proprietà fisico-meccaniche dei vulcanizzati e fatti che le influenzano: curve dinamometriche, durezza, isteresi, resilienza, abrasione, attrito, fatica. Processi di invecchiamento.

Tecnologie di trasformazione degli elastomeri.

Il pneumatico: struttura, elastomeri impiegati: materiali tessili. Processo di produzione. Meccanica del pneumatico: parti costituenti e loro funzioni. Tipi di pneumatici e campi di impiego. Caratteristiche meccaniche radiali, longitudinali e trasversali. Assorbimento di potenza. Aderenza su asciutto e bagnato, fatica, abrasione. Valutazioni in laboratorio e su strada.

Sistemi antivibranti: vibrazioni meccaniche libere e forzate in sistemi che utilizzano elastomeri. Tecniche di misura e comportamento dei vari materiali. Esempi di applicazione degli antivibranti.

Manufatti in gomma per autoveicoli: cinghie di trasmissione, tubi, guarnizioni, giunzioni.

### BIBLIOGRAFIA

F.R. Eirich, *Science and technology of rubber*, Academic Press, New York, 1978.

C.M. Blow, *Rubber technology and manufacture*, Butterworths, London, 1975.

*Enciclopedia internazionale di chimica*, PEM, 1972, vol. V, p. 425-484.

K. Nagdi, *Manuale della gomma*, Tecniche Nuove, Milano, 1987.

## E 1750 Elettronica dello stato solido

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 24 laboratori 20 (settimanali 4/2/2)

Docente da nominare

REQUISITI. *Dispositivi elettronici.*

### PROGRAMMA

*Reticoli cristallini:* bande di energia nei solidi; parametri caratteristici all'equilibrio termodinamico e per basso livello di iniezione (pseudolivelli di Fermi); statistiche di Maxwell-Boltzmann, Fermi-Dirac e Bose-Einstein.

#### *Il modello di trasporto stazionario*

Il modello di trasporto stazionario in equilibrio termodinamico: equazione di Poisson. Proprietà di trasporto: mobilità, diffusività. L'equazione di continuità. Proprietà di trasporto ad alto campo. Il modello stazionario fuori equilibrio. Modelli a portatori di maggioranza.

Modelli a due portatori. Ricombinazione e generazione: banda-banda, Shockley-Read. Interazione fonone-elettrone. Ricombinazione Auger. *Breakdown*. Effetti superficiali e di substrato. Trappole.

Problematiche di soluzione bidimensionale delle equazioni del modello di trasporto stazionario. Applicazioni a diodi Schottky e *p-n*, FET, MOSFET, transistori bipolari. Effetti termici. Variazione dei parametri caratteristici in funzione della temperatura. Modello termico fenomenologico. Modello termico fisico.

#### *Modelli di trasporto non stazionario*

Introduzione fenomenologica: *overshoot* di velocità, elettroni caldi, statistica dei portatori ad alto campo. Riscaldamento dei dispositivi.

L'equazione di Boltzmann. Fenomeni di *scattering*. Cenni alla simulazione Montecarlo.

Modelli idrodinamici: equazione di trasporto dell'energia e della quantità di moto. Modello non stazionario per il silicio. Modello non stazionario per il GaAs. Modelli a tre gas. Modelli a un gas di elettroni. Applicazioni a MOSFET, MESFET su GaAs, diodi Gunn.

*Eterostrutture:* struttura a bande di una eterostruttura; dispositivi a eterostruttura: HEMT, HBT.

#### *Effetti ottici nei semiconduttori*

Comportamento dielettrico dei materiali alle frequenze ottiche. Principi della generazione e ricombinazione, spontanea e stimolata.

Materiali per laser a semiconduttore: condizioni per effetto laser.

Effetto fotoelettronico e fotorivelatori. Effetto fotovoltaico.

*Cenni sulla simulazione dei processi*

## E 1994 **Fisica delle superfici**

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6

Docente da nominare (Fisica)

Il corso si propone di fornire le nozioni essenziali allo studio della fisica delle superfici. La fase di superficie viene presentata come una fase ben distinta della materia e ne vengono esaminate le principali proprietà ottiche, elettroniche, chimiche e termodinamiche. Vengono illustrati e presentati i principali metodi di caratterizzazione e le applicazioni più usate nel campo dei semiconduttori e delle leghe metalliche e isolanti.

REQUISITI. *Fisica 1 e 2, Struttura della materia.*

### PROGRAMMA

#### *Superfici pulite.*

#### Termodinamica.

Analisi chimica (spettroscopica elettronica e di massa).

Struttura cristallina (cristallografia e diffrazione; *scattering* di ioni).

Struttura elettronica (il modello *jellium*; teoria delle bande unidimensionale e tridimensionale; spettroscopia di fotoelettroni; metalli; leghe; semiconduttori; isolanti).

Transizioni di fase (ricostruzione; fusione; proprietà magnetiche; fenomeni critici).

Eccitazioni elementari (eccitoni e plasmoni, fononi, magnoni).

Proprietà ottiche (riflessione e rifrazione; polaritoni; fenomeni non lineari).

#### *Assorbimento.*

Assorbimento fisico (fondamenti; metalli; semiconduttori).

Struttura cristallina (topografia; simmetrie; lunghezza dei legami e loro orientazione).

Transizioni di fase-equilibrio; sistemi chemisorbiti.

Struttura elettronica (metalli; magnetismo; semiconduttori; barriere Schottky; isolanti).

Trasferimento di energia (stati elettronici e vibrazionali; stati traslazionali e rotazionali; fasci molecolari).

Cinetica e dinamica (assorbimento; diffusione; desorbimento); reazioni superficiali (catalisi; crescita cristallina).

Epitassia (orientazione e *strain*; crescita; MOCVD; *molecular beam epitaxy*; eterostrutture, etc.).

## E 2600 Impianti chimici

(non attivato 93/94)

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 65 esercitazioni 52 (settimanali 4/4)

Docente da nominare (Scienza dei materiali e ing. chimica)

L'insegnamento fornisce agli allievi i criteri di progettazione di alcuni gruppi di apparecchiature di frequente impiego nell'industria chimica, dedicando particolare attenzione al loro inserimento nell'impianto produttivo. Il dimensionamento delle apparecchiature viene pertanto completato da indicazioni su modalità di allacciamento, alimentazione, scarico, supportazione, ecc., anche in relazione a necessità di coibentazione ed a problemi di dilatazioni termiche.

### PROGRAMMA

Vengono considerate le principali apparecchiature per le seguenti operazioni:

- a) *trasferimento di calore*: scambiatori di calore a tubi coassiali, a fascio tubiero, a piastre, ecc.; condensatori; evaporatori; elementi per il controllo termico di reattori agitati e serbatoi;
- b) *trasferimento di materia*: lisciviatori (con cenni sulle più comuni apparecchiature di comminuzione); colonne di assorbimento e di distillazione; scambio di materia nei reattori agitati multifasici;
- c) *trasferimento simultaneo di calore e di materia*: essiccatori e cristallizzatori;
- d) *agitazione e miscelazione* di sistema omogenei ed eterogenei con particolare riferimento ai reattori agitati multifasici (sospensione di una fase solida in una liquida continua, dispersione di una fase gassosa gorgogliante, ecc.);
- e) *fluidizzazione*.

### ESERCITAZIONI

Consistono nello studio di fattibilità di un impianto chimico, basato sul progetto di massima delle apparecchiature principali e sulla successiva elaborazione di una proposta di loro disposizione corredata dai necessari disegni.

### BIBLIOGRAFIA

J.M. Coulson, J.F. Richardson, *Chemical engineering. Vol. 2, Unit operations*, Pergamon, Oxford, 1973.

Come testi di consultazione possono essere indicati:

E.E. Ludwig, *Applied process design for chemical and petrochemical plants*, Gulf Publ., Houston.

D.Q. Kern, *Process heat transfer*, McGraw-Hill, London.

N. Harnby, M.F. Edwards, A.W. Nienow, *Mixing in the process industry*, Butterworths, London.

## E 2730 Impianti meccanici

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 100 laboratori 20 (settimanali 4/6)

Prof. Armando Monte (Idraulica, trasporti e infrastr. civili)

Scopo del corso è di far conoscere i principali problemi attinenti agli impianti industriali, con i quali gli ingegneri verranno a contatto durante la loro attività professionale e fornire i criteri di progettazione, gestione e valutazione degli impianti stessi.

Sono previste lezioni per fornire gli elementi teorici e pratici per la progettazione e gestione degli impianti, esercitazioni applicative e visite ad impianti funzionanti.

### PROGRAMMA

Criteri di progettazione degli impianti industriali. La disposizione dei macchinari e dei reparti. Applicazioni di metodologie statistiche alla progettazione e gestione degli impianti industriali. Applicazioni di metodi di ricerca operativa alla progettazione e gestione degli impianti industriali.

Ingegneria economica. Valutazione della redditività degli investimenti impiantistici.

I trasporti interni agli stabilimenti industriali e il dimensionamento dei magazzini.

Impianti di captazione e distribuzione dell'acqua, di produzione e distribuzione dell'aria compressa, di trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica e di distribuzione degli altri servomezzi occorrenti negli stabilimenti industriali.

Impianti di trattamento e ricircolo delle acque primarie e di scarico.

Trattamento dei fanghi e dei rifiuti solidi.

Impianti di aspirazione e filtrazione delle polluzioni atmosferiche prodotte nelle lavorazioni industriali.

Isolamento e riduzione dei rumori e delle vibrazioni in campo industriale.

### ESERCITAZIONI

Progettazione di massima di un impianto industriale, con l'applicazione degli argomenti svolti a lezione. Visite a impianti industriali.

### BIBLIOGRAFIA

A. Monte, *Elementi di impianti industriali*, Cortina, Torino  
e, in generale, la bibliografia ivi riportata.

## E 2740 Impianti metallurgici

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 8 esercitazioni 4

Prof. Mario ROSSO (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso fornisce una conoscenza dei principali impianti specifici dell'industria metallurgica e ceramurgica, con particolare riferimento al ciclo produttivo, al processo e alla conduzione dell'impianto, ai bilanci termici e di materia, ai riflessi del processo di produzione sulle proprietà dei materiali.

### PROGRAMMA

#### *Parte generale*

Gli impianti metallurgici. Parametri di produzione. Schemi di flusso.

Gestione e manutenzione degli impianti. Servizi generali. Movimentazione interna e impianti di trasporto dei materiali.

Classificazione e controllo dei forni metallurgici. Combustione, preriscaldamento e recupero del calore. Impianti di depurazione e di utilizzazione dei gas combusti.

Scambiatori ceramici ed a fascio tubiero.

Automazione degli impianti metallurgici.

Isolamento e riduzione dei rumori e vibrazioni.

L'infortunistica nell'industria metallurgica.

#### *Parte speciale*

Impianti di trattamento dei minerali. Impianti di macinazione, arricchimento, pellettizzazione ed agglomerazione.

Impianti di riduzione. Riducibilità degli ossidi ferrosi e non ferrosi. Effetto dei costituenti delle scorie. Forni a tino. Altoforno. Dimensionamento. Processo e dati di funzionamento. Bilancio di materia. Bilancio termico. Impianti ausiliari. Forni a tino nelle metallurgie non ferrose e per produzione di ghisa per getto. Linee di colata.

Formatura. Impianti di recupero delle terre.

Impianti di affinazione. Bagni metallici fusi. Equilibrio metallo-scoria. Impianti di pre-affinazione dell'acciaio. Convertitori. Bilanci termici e di materia. Forni a suola negli impianti ceramurgici e nelle metallurgie da solfuri. Convertitori per rame e per metalline. Forni elettrici per affinazione di acciai. Forni per induzione a bassa ed alta frequenza. Forni per elettrolisi di sali fusi. Celle per raffinazione elettrolitica.

Impianti di disossidazione e calmaggio. I gas nei bagni metallici. Impianti di degassaggio sotto vuoto. Impianti DH ed RH. Linee di colata in lingottiera. Impianti per colata continua.

Impianti per trattamenti termici e chimico-termici dei materiali. Impianti per produzione di atmosfere controllate. Impianti per sinterizzazione sotto vuoto e in ambienti inerti o riducenti. Forni rotanti per riduzione diretta.

Impianti di captazione di fumi e di trattamento di effluenti gassosi.

## E 3880 Ottica

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 20 laboratori 20 (settimanali 4/2/2)

Prof. Elio Miraldi (Fisica)

### PRESENTAZIONE

Il corso si propone di completare ed approfondire gli elementi di ottica che vengono impartiti nei corsi di fisica del biennio. Si descrivono le principali proprietà dei materiali usati nei dispositivi ottici, gli effetti fisici che stanno alla base del funzionamento di trasduttori, sensori e convertitori ottici. In particolare si studieranno le proprietà ottiche dei cristalli liquidi.

### PROGRAMMA

Ottica geometrica dei mezzi anisotropi. Attività ottica naturale. Classi di simmetria dei cristalli e tensore dielettrico. Mezzi stratificati anisotropi: matrici di Berreman e matrici di Jones.

Interferometria con luce polarizzata. Interferometro di Michelson. Interferometro di Fabry-Perot.

Polarizzabilità molecolare. Transizioni di bipolo elettrico. Forma delle righe di emissione ed assorbimento: teoria classica. Smorzamento radiativo e raggio classico dell'elettrone. Allargamento omogeneo ed inhomogeneo di riga. Teorema di fluttuazione-dissipazione.

Teoria classica dell'indice di rifrazione: mezzi diluiti; mezzi condensati, campo locale. Teoria della risposta lineare, casualità, relazione fra le parti reale ed immaginaria della costante dielettrica (relazioni di dispersione di Kronig-Klausius).

Effetti elettro-ottici: simmetrie dei cristalli e coefficienti di Pockels; teoria dell'effetto Kerr. Effetti magneto-ottici. Proprietà ottiche delle sostanze ferromagnetiche: polarizzazione della luce riflessa. Effetti acusto-ottici e diffusione di luce da fluttuazione termiche di densità. Principali applicazioni degli effetti elettro-magneto-acusto-ottici.

*Dispositivi a cristallo liquido.*

Mesofasi, cristalli liquidi: classificazione. Transizioni di fase. Proprietà viscoso ed elastiche dei liquidi anisotropi: il concetto di elasticità di curvatura. Distorsioni indotte da campi elettrici e magnetici statici. Interazioni di un liquido anisotropo con le pareti, anisotropia di ancoraggio.

Principali tipi di celle a cristallo liquido. Trasmissione e riflettanza di una cella distorta: dipendenza dal campo applicato. Discontinuità nella risposta ottica (transizioni di Freedericksz). Cenni di dinamica dei nematici e tempi di risposta.

Dispositivi visualizzanti a cristallo liquido ed altri tipi di dispositivi visualizzanti.

### BIBLIOGRAFIA

M. Born, E. Wolf, *Principles of optics*, Pergamon, Oxford, 1985.

A. Yariv, P. Yeak, *Optical waves in crystals*, Wiley, New York, 1984.

G. Rigault, *Elementi di ottica cristallografica*, Levrotto & Bella, Torino, 1965.

K. Iizuka, *Engineering optics*, Springer, 1985.

J.M. Vaughan, *The Fabry-Perot interferometer*, Hilger, 1989.

S. Chandrasekhar, *Liquid crystals*, Heiden, 1980.

## E 4660      **Scienza e tecnologia dei materiali elettrici**

Anno:periodo 5:1    Impegno (ore): lezioni 84 (settimanali 6)

Prof. Daniele Mazza (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si prefigge i seguenti scopi: richiamare i concetti fondamentali della fisica e della chimica dei solidi; correlare la struttura con i comportamenti magnetico, elettrico e meccanico dei materiali d'interesse elettrotecnico; classificare i suddetti materiali in funzione delle loro caratteristiche d'impiego in settori specifici; fornire nozioni di base sulle tecnologie di produzione di elementi, leghe e composti da utilizzare nelle varie realizzazioni; prevedere il loro comportamento in esercizio; giustificare le eventuali interazioni con l'ambiente circostante.

### PROGRAMMA

Richiami alla struttura dell'atomo e dei solidi. Stato amorfo e stato cristallino. Principali esempi di diagrammi di fase binari. Elementi di teoria delle bande.

*Proprietà meccaniche e termiche dei materiali.*

Variazioni dimensionali indotte dalla temperatura. Metodi di misura delle principali caratteristiche meccaniche.

*Proprietà elettriche dei materiali.*

Correlazione tra comportamento elettrico e struttura elettronica. Conduzione nei cristalli ionici. Superconduttività. Meccanismi di semiconduzione di tipo intrinseco ed estrinseco. Principi della purificazione a zone e della diffusione allo stato solido. Effetti termoelettrici. Scarica nei dielettrici. Fenomeni di polarizzazione. Comportamento ferroelettrico.

*Proprietà magnetiche dei materiali.*

Relazione tra comportamento magnetico e struttura elettronica. Ciclo di isteresi.

*Tecnologie di produzione dei materiali.*

Metallurgia del ferro e principali leghe. Leghe per magneti permanenti. Ferriti cubiche ed esagonali. *Garnet*. Principali leghe di rame ed alluminio. Cenni alle metallurgie degli altri metalli.

### BIBLIOGRAFIA

Appunti distribuiti durante le lezioni, con riferimenti bibliografici specifici.

## E 4700 Sensori e trasduttori

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 4 esercitazioni 3 laboratori 4

Prof. Andrea De Marchi (Elettronica)

Il corso ha lo scopo di fornire un quadro aggiornato sui principi fisici di funzionamento, sui materiali e le tecnologie costruttive, sulle modalità di impiego e di inserimento in strumentazione complessa, sui criteri e tecniche di caratterizzazione metrologica dei sensori nel campo dei processi industriali.

### PROGRAMMA

Definizione e classificazione dei sensori e trasduttori; caratteristiche metrologiche; metodi di caratterizzazione.

Principi di funzionamento; tecniche di trasduzione; trasduttori resistivi, capacitivi, a variazione di induttanza e riluttanza magnetica; trasduttori piezoelettrici.

Tecnologie di produzione; *film* spesso e *film* sottile.

Sensori per la misurazione di grandezze fisiche: temperatura, lunghezza, posizione e spostamento, velocità, accelerazione e vibrazione, forza, coppia e deformazione, pressione, flusso e portata, livello; cenni a sensori di umidità, suono, densità.

Strumentazione per misure industriali con metodi "non a contatto"; sensori a ultrasuoni; sensori ottici e a fibre ottiche; metodi interferometrici.

Sensori intelligenti.

Condizionamento e conversione del segnale; ponti a trasduttori; amplificatori per strumentazione; circuiti per trasduttori a trasformatore differenziale; cenni alle tecniche di conversione analogico/digitale.

### ESERCITAZIONI.

Le esercitazioni sperimentali di laboratorio, svolte dagli studenti suddivisi in gruppi, riguardano l'uso e la caratterizzazione di differenti tipi di sensori utilizzati nell'automazione industriale. Le esercitazioni in aula hanno lo scopo di presentare le esercitazioni di laboratorio e di discuterle dopo che sono state svolte.

## E 4780 Siderurgia

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 15 (settimanali 5/1)

Prof. Aurelio Burdese (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha lo scopo di affinare la preparazione dell'ingegnere in campo metallurgico, fornendo conoscenze specialistiche sulle leghe ferrose, con particolare riferimento ai processi ed impianti siderurgici, senza però trascurare un più approfondito studio delle proprietà strutturali, meccaniche e chimiche dei prodotti siderurgici e delle loro caratteristiche di impiego.

Per una buona preparazione nel campo specifico occorrono buone nozioni di base sulle metallurgia generale, la tecnologia dei materiali metallici (trattamenti termici e meccanici), e dei materiali refrattari, la teoria e la pratica dei fenomeni di combustione e di trasmissione del calore.

Il corso si svolgerà con lezioni, integrate da esame di schemi costruttivi di impianti ed apparecchiature specifiche con visite a stabilimenti siderurgici.

**REQUISITI.** *Termodinamica dell'ingegneria chimica, Tecnologia dei materiali e chimica applicata, Metallurgia.*

### PROGRAMMA

*Chimica fisica dei processi siderurgici.*

Equilibri omogenei ed eterogenei in sistemi di interesse siderurgico. Bagni metallici. Equilibri metallo-scoria. Equilibri di riduzione degli ossidi. Termodinamica dei processi siderurgici.

*Teoria e pratica dei processi di riduzione.*

Riducibilità degli ossidi. Sistemi costituiti da ossidi in progressiva riduzione. Equilibri di riduzione degli ossidi di ferro con riferimento all'effetto di ossidi estranei, in particolare dei componenti delle scorie siderurgiche. Riducenti. Riduzioni dirette e indirette. Combustibili. Preriscaldamento e ricupero di calore. Classificazione e controllo di forni siderurgici.

*Ghisa.*

Preparazione del minerale. Altoforno ed impianti ausiliari. Altoforno elettrico e forni per ferroleghie. Seconda fusione. Inoculazione e colata. Sferoidizzazione e malleabilizzazione. Ghise legate. Caratteristiche di impiego delle ghise.

*Acciaio.*

Processi di preaffinazione ed affinazione. Disossidazione e colata. Fabbricazione di acciai speciali. Lavorazioni ed utilizzazione dell'acciaio. Trattamenti termici e caratteristiche strutturali e di impiego degli acciai. Comportamento in opera.

### ESERCITAZIONI

Esame di schemi costruttivi e dimensionamento di apparecchiature ed impianti siderurgici.

### BIBLIOGRAFIA

- A. Burdese, *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici*, UTET, Torino, 1992.  
W. Nicodemi, R. Zoja, *Processi e impianti siderurgici*, Tamburini, Milano.  
G. Violi, *Processi siderurgici*, ETAS Compass, Milano.

## E 5404 Superconduttività

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 50 (settimanali 4)

Prof. Mario Rasetti (Fisica)

Finalità del corso è di dare una descrizione sistematica della fenomenologia connessa con il fenomeno della superconduttività e delle proprietà strutturali dei superconduttori (in particolare ad alta temperatura critica), di fornire gli strumenti fondamentali necessari per una descrizione microscopica (quantistica) della superconduttività, utilizzandoli poi per valutare le proprietà fisiche caratteristiche essenziali dei superconduttori, di descrivere infine le più importanti applicazioni della superconduttività alla tecnologia avanzata.

**REQUISITI.** Sono necessarie nozioni propedeutiche di meccanica quantistica e di meccanica statistica.

### PROGRAMMA

#### *Fenomenologia*

1. Proprietà elettrodinamiche macroscopiche dei superconduttori: resistenza elettrica a bassa temperatura; effetto Meissner, campi magnetici critici; fenomeni dipendenti dalla forma; quantizzazione del flusso magnetico; correnti persistenti.
2. Proprietà termodinamiche: il *gap* di energia; parametri d'ordine; calore specifico; modello fenomenologico a due fluidi.
3. Equazioni elettrodinamiche di Landau.
4. Teorie fenomenologiche più raffinate: le equazioni non-locali di Pippard; la teoria di Ginzburg-Landau; energia di superficie, interfacce.
5. Ulteriori proprietà fenomenologiche: superconduttori di tipo II, campi critici inferiore e superiore, energia delle linee di flusso, correnti critiche; *tunneling*, quasiparticelle, effetto Josephson, giunzioni.

#### *Teoria microscopica*

6. Richiami di seconda quantizzazione: modi normali di un cristallo, fononi; fermioni; fenomeni di *scattering*.
7. Costruzione della hamiltoniana di Bloch-Frölich: modello di Sommerfeld, interazioni coulombiane, *scattering* degli elettroni dalle vibrazioni del cristallo.
8. Lo stato fondamentale: instabilità dello stato fondamentale normale; coppie di Cooper; lo stato fondamentale di Bardeen, Cooper, Schrieffer.
8. Stati eccitati: eccitazioni fermioniche; effetti di coerenza, perturbazioni.
10. Temperatura finita: transizione di fase, temperatura critica; effetti di prossimità; effetto Meissner.
11. Criteri per la superconduttività: semiconduttori superconduttori; caratteristiche corrente-campo.

#### Alta temperatura critica

12. I nuovi materiali superconduttori: perovskiti, YBaCuO, ecc.; proprietà strutturali; caratteristiche elettromagnetiche e meccaniche, metodi di produzione.
13. Verso una teoria dell'alta  $T_C$ : modello di Hubbard e sue varianti; stato fondamentale, *pairing* di elettroni; ruolo dei fononi; anyoni e statistiche esotiche, quanti di flusso.

## E 5640 Tecnologia meccanica

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 4 esercitazioni 4

Docente da nominare

Obiettivi del corso sono: fornire l'insieme di nozioni necessarie a comprendere come possa essere utilizzato e prodotto un particolare meccanico; analizzare i diversi elementi componenti la macchina utensile in modo da fornire di quest'ultima una visione sistematica; studiare i fondamenti teorici dei processi di lavorazione con asportazione di materiale e per deformazione plastica; introdurre i primi rudimenti di gestione delle macchine utensili; presentare una panoramica delle lavorazioni non convenzionali.

**REQUISITI.** Capacità di lettura di un disegno tecnico e nozioni elementari sulle caratteristiche dei materiali metallici.

### PROGRAMMA

La prima parte del corso ha carattere prevalentemente propedeutico e dà un'ampia panoramica dei principali elementi componenti la macchina utensile; vengono altresì sviluppati gli aspetti teorici connessi alle operazioni di taglio con asportazione di materiale.

Ampio spazio viene dedicato alle macchine utensili a CN, sviluppandone sia l'aspetto costruttivo sia l'aspetto applicativo. Vengono trattate le basi del linguaggio di programmazione. In stretta connessione con le macchine a CN, si parla di sistemi integrati di produzione e di *computer assisted manufacturing* (CAM).

Vengono ancora trattate le lavorazioni per deformazione plastica vedendole come mezzo per l'ottenimento di semilavorati per le lavorazioni ad asportazione di truciolo. In questo capitolo del corso si dà un breve cenno delle lavorazioni sulle lamiere con particolare riferimento a quelle impiegate nell'industria aerospaziale.

La parte finale del corso è dedicata ad una panoramica delle tecnologie di lavorazione non convenzionali (EDM, ECM, laser, ecc.).

### ESERCITAZIONI.

Il corso è integrato da una serie di lezioni-esercitazioni attinenti la stesura di cicli di lavorazione e lo studio delle principali macchine universali impiegate nella produzione meccanica: torni, trapani, fresatrici, alesatrici, rettificatrici.

### BIBLIOGRAFIA.

G.F. Micheletti, *Il taglio dei metalli e le macchine utensili*, UTET, Torino.

R. Ippolito, *Appunti di tecnologia meccanica*, Levrotto & Bella, Torino, 1974.

R. Ottone, *Macchine utensili a comando numerico*, ETAS Kompass.

## E 5691    Tecnologie e materiali per l'elettronica 1

Anno:periodo 5:1    Impegno (ore): lezioni 80 (settimanali 6)

Prof. Gian Paolo Bava (Elettronica)

Il corso ha lo scopo di fornire informazioni sulle tecnologie impiegate nella fabbricazione dei componenti elettronici. Questo studio tecnologico-costruttivo dei componenti elettronici è importante per la migliore comprensione dei dispositivi elettronici nei confronti delle loro prestazioni, per la valutazione della loro affidabilità (il cui calcolo diviene sempre più necessario con l'aumentare della complessità delle apparecchiature elettroniche) e infine per il valore economico preminente che la componentistica elettronica ha assunto nella produzione dei sistemi elettronici.

Il corso comprende lezioni, seminari specialistici su alcuni temi, visite presso lo CSELT.

### REQUISITI.

*Dispositivi elettronici*; è tuttavia consigliato il corso di *Dispositivi elettronici 2*.

### PROGRAMMA

Proprietà dei materiali semiconduttori: rapporto composizione, struttura cristallina, struttura a bande e proprietà fisiche.

Tecnologia di crescita di monocristalli: *bulk* ed epitassiali.

Caratterizzazione materiali: cristallografica, ottica ed elettronica.

Tecnologia dei processi realizzativi: fotolitografia, deposizioni, incisioni, diffusione ed impiantazione.

Tecnologie di interconnessione.

Progettazione di circuiti integrati: schema e simulazione logica ed elettrica, CAD e *testing*.

Tecnologia dei circuiti integrati: MOS, CMOS, SOS e correlati, circuiti LSI ed VLSI.

Tecnologia dei GaAs: planare e circuiti integrati.

Dispositivi opto-elettronici: comunicazione ottiche, emettitori, rivelatori.

Affidabilità: affidabilità sistemi e meccanismi di guasto.

### TESTI CONSIGLIATI

Sze, *Dispositivi a semiconduttore*, Hoepli, Milano, 1973.

Agraval, Dutta, *Long wavelength semiconductor lasers*, Van Nostrand Reinhold, 1986.

Williams, *Gallium arsenide processing techniques*, Artech House, 1985.

Einspruch, Wiseman, *GaAs microelectronics*, Academic Press, New York, 1985.

Pollino, *L'affidabilità dei componenti elettronici a semiconduttore*, Scuola superiore "G. Reiss Romoli", L'Aquila, 1987.

## **E 0910      Corrosione e protezione dei materiali metallici**

Anno: periodo 5:2    Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 14 (settimanali 5/1)

Prof. Mario Maja (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha lo scopo di fornire agli allievi le basi necessarie per discutere i processi di deterioramento dei materiali metallici provocati dalla corrosione e per scegliere i metodi di protezione e di prevenzione più idonei. Nel corso viene trattata la corrosione ad umido, la corrosione a secco e la corrosione per correnti impresse e vengono discussi i criteri di scelta dei materiali metallici ed i metodi di protezione.

**REQUISITI.** *Chimica, Metallurgia.*

### **PROGRAMMA**

Introduzione. Principi fondamentali di elettrochimica.

Corrosione ad umido. Reazioni caratteristiche, fattori di localizzazione, velocità di corrosione, vari tipi di corrosione.

Prove di corrosione. Tipi di prove, apparecchiature di controllo e di studio dei fenomeni di corrosione.

Materiali e ambiente. Comportamento dei metalli in ambienti diversi.

Prevenzione contro la corrosione. Criteri di progettazione, protezione catodica, rivestimenti e vernici.

Correnti vaganti.

Corrosione a secco.

### **ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni riguardano la discussione, anche mediante alcune videocassette della NACE, dei principali casi di corrosione.

## E 0940 Costruzione di macchine

Anno: periodo 5:2

*Docente da nominare*

Il corso fornisce agli allievi le metodologie e le nozioni tecniche necessarie per affrontare il problema della progettazione in campo meccanico. Si trattano argomenti di carattere generale, quali il comportamento a fatica, lo scorrimento a caldo e lo smorzamento interno dei materiali, le vibrazioni flessionali e torsionali e le velocità critiche degli alberi rotanti, e argomenti di carattere particolare riferiti ai principali organi delle macchine.

**REQUISITI.** *Scienza delle costruzioni, Elementi di meccanica teorica ed applicata, Disegno meccanico.*

### PROGRAMMA

La progettazione delle macchine e delle strutture: progetto a resistenza, a deformabilità, a usura, a carichi localizzati (Hertz); prove di laboratorio rilevanti per il progettista meccanico.

I problemi di base relativi ai coefficienti di sicurezza nel progetto: fattore statistico; fattore di sollecitazione; fattore di carico; il caso speciale della instabilità elastica; norme e leggi sui fattori di sicurezza in organi di macchine; norme e leggi sui fattori di sicurezza in strutture metalliche.

Il progetto a fatica delle macchine: comportamento a fatica dei materiali; a basso ed alto numero di cicli; concentrazione delle tensioni ed effetto di intaglio; origine ed effetto delle tensioni residue; danno cumulativo; relazioni con la meccanica della frattura lineare elastica.

Il progetto dei recipienti in pressione: verifiche a carichi membranali; effetti di bordo, *shakedown*, il progetto di piastre cieche e tubiere; carichi localizzati (bocchelli, rinforzi, selle); teoria e normative (ex ANCC, ASME); cenni sul progetto ad alta temperatura.

Problemi speciali di progetto e della manutenzione delle macchine: collegamenti con viti, statici e a fatica; collegamenti sforzati, interazioni con la tecnologia produttiva; forme, materiali e calcolo delle molle.

Problemi speciali della giunzioni saldate: tecniche di saldatura e relativa difettologia (casistica); calcolo normativo dei giunti di testa e d'angolo; tensioni residue a fatica; i controlli non distruttivi.

Problemi speciali del calcolo strutturale dinamico: formulazioni matriciali ed agli elementi finiti; analisi dinamica con materiali smorzanti e con smorzatori.

### ESERCITAZIONI.

Consistono nella progettazione di un gruppo meccanico, e comprendono un dimensionamento di massima (disegno e calcoli) degli organi principali del gruppo.

## E 1442 Dispositivi elettronici 2

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 24 laboratori 12 (settimanali 6/2)

Prof. Carlo Naldi (Elettronica)

Non è possibile descrivere l'intera gamma dei dispositivi a semiconduttore; si cerca tuttavia, oltre a includere i più importanti tra essi, specie nel campo delle alte frequenze per telecomunicazioni, di presentarne lo studio in modo sistematico e unitario al fine di suggerire una metodologia per la comprensione di altri dispositivi non esaminati. Di ogni dispositivo si studiano le principali applicazioni.

### PROGRAMMA

*Cenni di meccanica quantistica.* Equivalenza pacchetto d'onde - particella. Distribuzioni di Maxwell, di Bose-Einstein e di Fermi-Dirac. Hamiltoniana del sistema. Emissione e assorbimento.

*Elettrone in un reticolo.* Relazione di dispersione. Teorema di Bloch. Modello di Kronig-Penney. Semiconduttori III-V, II-IV.

*Fenomeni di trasporto.* Condizioni di non equilibrio. Collisioni con impurità ionizzate e con vibrazioni reticolari. Fononi acustici e ottici. Interazione elettrone-fonone.

*Dispositivi a effetto di volume:* diodi Gunn. Mobilità differenziale negativa. Operazioni con circuito risonante. Tecniche di progetto di oscillatori a resistenza negativa.

*Tecnologia dell'arseniuro di gallio.* Crescita monocristallina. Semi-isolante (compensazione dislocazioni-carbonio). Tecniche epitassiali: LPE, MOCVD, MBE. Impiantistica ionica.

Fenomeni di *breakdown* e dispositivi a valanga e tempo di transito. Diodi IMPATT.

Fenomeni di generazione-ricombinazione. Centri di ricombinazione; teoria SRH.

*Dispositivi optoelettronici.* Diodi a emissione di luce (LED). Celle solari: al silicio, a eterogiunzione, Schottky, con concentrazione e con *spectral splitting*. Fotorivelatori: fotoconduttore, fotodiodi. *Laser* a omostruttura e a eterostruttura: SH e DH, a striscia, a reazione distribuita.

*Modelli matematici dei dispositivi.* Modello stazionario continuità - Poisson. Equazione di Boltzmann. Modelli non stazionari: equazioni dell'energia e del momento. Tecniche Montecarlo. Principi generali sul rumore nei dispositivi.

*MESFET all'arseniuro di gallio.* Amplificatori di basso rumore e di potenza, oscillatori, mescolatori. Circuiti integrati Monolitici (MMIC). Tecnologie epitassiali e per impiantazione.

*Dispositivi a super-reticolo: multi-quantum well* e modulazione del drogaggio; HEMT, pseudomorfici; transistori bipolari a eterogiunzione HBT. Dispositivi a *tunneling* risonante.

### BIBLIOGRAFIA

Michael Shur, *Physics of semiconductor devices*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990.

## E 1700 Elettrometallurgia

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 28 (settimanali 4/2)

Prof. Bruno De Benedetti (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha lo scopo di fornire i principi impiantistici delle varie tecnologie metallurgiche che utilizzano elettricità come fonte energetica primaria. In tale ambito si porrà particolarmente l'accento sulle problematiche relative alla conduzione degli impianti.

Il corso si rivolge a studenti con sufficiente preparazione di base nell'ambito della metallurgia di processo e dell'elettrotecnica.

### PROGRAMMA

1. Trasformazione dell'energia elettrica in calore (per resistenza, per arco, per induzione) e relativo trasferimento alla carica metallica dei forni. Classificazione dei principali tipi di forni metallurgici.
2. Acciaiera elettrica: descrizione dei flussi energetici e di materiale. Potenza attiva e reattiva, diagramma circolare del forno elettrico. Condizioni di marcia dei forni ad arco: fusione della carica, scorifica, affinazione, colata. Metallurgia in siviera con e senza apporto di energia, trattamenti sotto vuoto ed in gas inerte. Colata in lingottiera. Colata continua. *Stirring* elettromagnetico in siviera e in colata continua. Rifusione dei lingotti: in forno ad arco sotto vuoto o sotto scoria elettroconduttrice.
3. Impiego dei principali forni elettrici ad induzione in fonderia. Ghisa: fusione di rottame, omogeneizzazione delle leghe provenienti dal cubilotto.
4. Forni elettrolitici per la produzione di alluminio primario. Confronto energetico col ciclo di raffinazione dei rottami.
- 5; Rassegna di processi particolari di interesse elettrometallurgico con particolare riguardo a: saldatura; processi a corrente costante e tensione costante, applicazioni alla saldatura dei principali materiali di interesse ingegneristico. Trattamenti termomeccanici utilizzando il riscaldamento induttivo.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni integrano le lezioni fornendo approfondimenti relativi al dimensionamento ed alla verifica dei principali tipi di impianto.

### BIBLIOGRAFIA

L. Di Stati, *Forni elettrici*, Patron, Bologna, 1976.

J.H. Brunklaus, *I forni industriali*, Tecniche ET, Milano, 1985.

H.B. Cary, *Modern welding technology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1979.

## E 2024 Fisica e ingegneria dei plasmi

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 42 esercitazioni 14 (settimanali 3/1)

*Docente da nominare*

I plasmi a bassa temperatura trovano numerose applicazioni nella moderna tecnologia, in particolare nei processi chimici e metallurgici, nel trattamento delle superfici e nella produzione di semiconduttori.

Il corso si propone di fornire allo studente gli strumenti fondamentali per lo studio della materia ionizzata e le conoscenze di base delle tecnologie che utilizzano i plasmi per la produzione ed il trattamento di materiali.

### PROGRAMMA

Prima parte: *Elementi di fisica dei plasmi parzialmente ionizzati.*

*Generalità sui plasmi.*

Moto di particelle cariche in un campo elettromagnetico. Quasi-neutralità. Oscillazioni di plasma. Schermaggio di Debye. Conducibilità elettrica di un gas ionizzato. Collisioni e sezioni d'urto. Equazioni macroscopiche. Riscaldamento ohmico. Diffusione. Legge di Child. Criterio dello strato di Bohm.

*Plasmi parzialmente ionizzati e applicazioni ai reattori.*

Dinamica delle specie neutre. Camera a vuoto per il plasma. Collisioni di reazione tra elettrone-, ione- e molecola-molecola. Cinetica di reazione. Modellizzazione fluida. Mescolamento. Tempi di permanenza in reattore e problemi ingegneristici relativi. Previsioni delle modificazioni delle superfici dovute ai processi di plasma.

Seconda parte: *Tecnologie a plasma.*

*Elementi sulle tecnologie a plasma per i settori metallurgico e chimico.*

Torçe a plasma e plasma jet. Cenni alle possibili applicazioni alla chimica e reattori a plasma. Plasmi nei processi metallurgici. Plasmi nei trattamenti superficiali. Plasma coating.

Plasma etching e deposition nella produzione di semiconduttori.

## E 3265 Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica

(Corso integrato)

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 40 (settimanali 4/4)

Prof. Massimo Rossetto (Meccanica)

Prof. Donato Firrao (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di fornire i concetti fondamentali e le principali applicazioni del comportamento meccanico dei materiali alle condizioni che portano alla frattura dei componenti strutturali. Vengono inoltre sottolineati i possibili interventi progettuali sui componenti e sui materiali per evitare cedimenti in opera.

### PROGRAMMA

Richiami sulla meccanica del continuo. Richiami sulle caratteristiche meccaniche dei materiali. Scorrimento a caldo dei materiali.

Deformazione plastica dei materiali e cedimento per collasso plastico dei componenti.

Modi di frattura, meccanismi di frattura. Elementi di frattografia.

Influenza della microstruttura dei materiali metallici sulle caratteristiche meccaniche.

Effetto d'intaglio statico, stato di tensione piano e stato di deformazione piano.

Meccanica della frattura; descrizione del campo delle tensioni e deformazioni all'apice di una cricca; fattore di intensità delle tensioni ( $K$ ); deformazioni plastiche all'apice di una cricca; descrizione del campo mediante l'approccio energetico, il tasso di rilascio energetico ( $G$ ); corrispondenza fra i due approcci. Tenacità alla frattura ( $K_{Ic}$ ,  $G_{Ic}$ ,  $J_{Ic}$ )

Fattori che influenzano la tenacità alla frattura. Arrotondamento all'apice della cricca (COD). Curve di resistenza alla crescita di una cricca (curve  $R$ ). Prove di tenacità alla frattura.

Fatica ad alto numero di cicli; cenni storici, rappresentazione dei dati di fatica; effetto d'intaglio, effetto delle dimensioni, effetto della finitura superficiale; effetto della tensione media.

Approccio della meccanica della frattura alla fatica dei materiali: legge di Paris e altre leggi di previsione.

Fatica oligociclica. Approccio a due stadi per la valutazione della resistenza a fatica.

Danneggiamento cumulativo.

Fatica multiassiale.

Cenni sull'influenza dell'ambiente: corrosione-fatica, tensio-corrosione.

Cenni sulle proprietà meccaniche dei materiali compositi.

### BIBLIOGRAFIA

H.O. Fuchs, R.I. Stephens, *Metal fatigue in engineering*, Wiley, New York.

G.E. Dieter, *Mechanical metallurgy*, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo.

D. Broek, *The practical use of fracture mechanics*, Kluwer, Dordrecht.

## E 3870 Optoelettronica

Anno: periodo 5:2

Prof. Ivo Montrosset (Elettronica)

REQUISITI. *Campi elettromagnetici.*

### PROGRAMMA

Ottica nel vuoto.

Approssimazione dell'ottica geometrica, fenomeni di diffrazione (Fresnel, Fraunhofer) ed interferenza, coerenza, matrici di Jones.

Applicazione a componenti ottici semplici: lamina a quarto d'onda, risonatore di Fabry-Perot, interferometri di Mach Zender, di Michelson, lente sottile e trasformata di Fourier. Applicazioni all'elaborazione ottica dell'informazione, olografia. Optoelettronica in mezzi materiali dielettrici.

Absorbimento e dispersione in dielettrici isotropi. Propagazione in mezzi anisotropi. Effetto elettro-ottico lineare, elasto-ottico e magneto-ottico. Applicazioni alla modulazione e deflessione della luce, al processamento ottico di segnali elettrici, isolatori ottici.

Cenni di ottica non lineare: effetti parametrici, effetto Kerr; applicazione alla generazione di seconda armonica, alla bistabilità ottica in risonatori Fabry-Perot, automodulazione di fase, compressione degli impulsi, solitoni in fibra ottica.

Optoelettronica in materiali semiconduttori ed attivi.

Richiami sulla fisica dei solidi e dei semiconduttori: diagrammi a bande nei solidi, valutazione concentrazione di portatori in semiconduttori, semiconduttori in condizioni di iniezione di carica, giunzione  $pn$ , fenomeni di ricombinazione, assorbimento ed emissione, inversione di popolazione nei cristalli (pompaggio ottico) e nei semiconduttori.

Sorgenti ottiche: LED, laser a semiconduttore (condizione di soglia, spettro e larghezza riga spettrale, modulazione diretta).

Fotorivelatori: fotoconduttori, fotodiodi PIN, fotodiodi a valanga; principali cause di rumore, parametri caratteristici (efficienza quantica, tempi di risposta, ecc.).

Altri dispositivi optoelettronici. Laser a stato solido, gas e liquidi: principi fisici di funzionamento, stabilizzazione in frequenza, *mode locking*, *Q-switching*. Rivelatori di luce: termoelettrici, bolometrici, fototubi, fotomoltiplicatori. Fibre ottiche, guide planari. Dispositivi di visualizzazione.

Applicazioni optoelettroniche. Sistemi di comunicazione in fibra ottica: descrizione, analisi e problematiche; sistemi a rivelazione diretta ed eterodina. Sensori ottici ed in fibra ottica: di grandezze fisiche, di distanza, spostamento, velocità, ecc. Tecniche LIDAR e CARS.

## E 3950 Plasticità e lavorazioni per deformazione plastica

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 52 (settimanali 4/4)

Prof. Giovanni Perotti (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

### PROGRAMMA

#### 1) Elementi di plasticità.

Cenni storici sulle tecnologie di deformazione dei metalli.

Comportamento dei materiali metallici in campo plastico, cenni sulla teoria delle dislocazioni.

Tensori delle tensioni, delle deformazioni, delle velocità di deformazione.

Teoria elementare della plasticità: relazioni fra tensioni, incrementi di deformazione, velocità di deformazione.

#### 2) Caratteristiche di processi.

- Fucinatura libera, stampaggio massivo: magli e presse, condizioni e cicli di lavorazione. Stampi e materiali relativi.
- Laminazione a caldo ed a freddo, forze di laminazione; calibratori dei cilindri, sequenze di laminazione.
- Estrusione di prodotti singoli, di barre e profilati. Trafilatura. Produzione dei tubi.
- Lavorazioni sulle lamiere: tranciatura, piegatura, stampaggio. Imbutitura: per costipamento e stiramento della lamiera; calcolo degli sviluppi, del numero di passaggi, delle forze. Anisotropia, curve limiti di formabilità.
- Processi non convenzionali.

### ESERCITAZIONI

Calcolo degli stati di tensione e deformazione, analisi di cicli tecnologici di stampaggio massivo a caldo.

Determinazione di curve di plasticizzazione.

Calcoli di forze e potenze in operazioni di estrusione e di laminazione.

Calcolo di interferenze in stampi di estrusione. Sequenze di imbutitura.

Cenni su metodi per raggruppare i pezzi in famiglie di produzione (caso della lamiera).

### LABORATORI E VISITE

Esame al microscopio di pezzi deformati, prove di ricalcatura, laminazione, imbutitura.

Visite a stabilimenti operanti con alcune delle tecnologie sopra descritte.

### TESTI CONSIGLIATI

H. Tschatsch, *Manuale lavorazioni per deformazione*, Tecniche Nuove, Milano.

M. Rossi, *Stampaggio a freddo delle lamiere*, Hoepli, Milano.

T. Spur, T. Stöferle, *Enciclopedia delle lavorazioni meccaniche*, Tecniche Nuove, Milano, 1980.

## E 4050      **Processi di produzione di materiali macromolecolari**

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 12 (settimanali 6, complessive)

Prof. Giuseppe Gozzelino (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso si propone di fornire un quadro generale sui principali tipi di polimeri sintetici, sulle loro caratteristiche e impieghi. Nella prima parte vengono trattati i concetti generali della chimica macromolecolare e la loro applicazione alla sintesi di polimeri industriali. Nella seconda parte sono discusse le principali proprietà fisiche e tecnologiche dei polimeri considerate da un punto di vista generale, nonché le tecnologie di trasformazione impiegate nei più importanti settori applicativi quali le materie plastiche, gli elastomeri, i polimeri termo-indurenti.

Il corso si svolgerà con lezioni, laboratori, visite di istruzione.

### PROGRAMMA

Concetti generali: tipi di polimeri e loro struttura: principali settori applicativi:

Esame dei fattori che determinano le proprietà dei polimeri; peso molecolare e distribuzione dei pesi molecolari; forze di coesione intermolecolari: densità di energia coesiva; regolarità della struttura: stereoregolarità: flessibilità della catena polimerica. Morfologia dei polimeri amorfi; struttura dei polimeri cristallini.

Aspetti generali delle reazioni di polimerizzazione: reazioni di policondensazione; reazioni di poliaddizione radicalica e di copolimerizzazione; reazioni di poliaddizione cationica, anionica e coordinata. Principali polimeri di interesse industriale: sintesi, proprietà, impieghi.

Proprietà dei polimeri in massa: proprietà termiche dei polimeri amorfi e cristallini. Stato vetroso e stato gommoso. Proprietà meccaniche: curve sforzo-allungamento. Elasticità della gomma. Reologia dei polimeri fusi. Viscoelasticità dei materiali polimerici.

Tecnologie di trasformazione: polimeri termoplastici: stampaggio per iniezione, estrusione e altre tecnologie. Polimeri termoindurenti: tipi di resine e tecnologie di stampaggio. Tecnologie degli elastomeri. Polimeri per vernici ed adesivi: tecnologie di impiego.

Materiali polimerici espansi e materiali compositi.

Impiego dei materiali polimerici nell'industria chimica.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI

Esercitazioni sperimentali su alcune reazioni di polimerizzazione e sulla caratterizzazione di polimeri. Visite ad impianti di trasformazione delle materie plastiche e gomme.

### BIBLIOGRAFIA

F.W. Billmeyer, *Textbook of polymer science*, Wiley Interscience, New York, 1971.

F. Rodriguez, *Principles of polymer systems*, McGraw-Hill, New York, 1982.

*Scienza e tecnologia delle macromolecole, a cura dell'AIR. Vol. 1*, Pacini, Pisa, 1983.

## E 4640      **Scienza e tecnologia dei materiali compositi**

Anno:periodo 5:2    Impegno (ore): lezioni 78 laboratori 26    (settimanali 6/2)

*Docente da nominare*

I materiali compositi sono caratterizzati dal possedere proprietà meccaniche, fisiche, chimiche modulabili in funzione delle esigenze primarie della struttura complessiva, offrendo così all'ingegnere diversificate soluzioni progettuali. Il corso propone principi fondamentali, criteri progettuali, tecnologie di processo, proprietà micro- e macroscopiche per questa innovativa classe di materiali.

### PROGRAMMA

#### *Introduzione.*

Definizione di materiale composito. Classificazione per tipo di matrice e rinforzante.

#### *Meccanismo di trasferimento degli sforzi.*

Interfaccia, adesione, reattività, aspetti strutturali. Trasferimento degli sforzi.

Dimensioni e frazioni volumetriche del rinforzante minime e critiche.

*Matrici* ceramiche, metalliche, polimeriche, vetrose: loro proprietà.

*Rinforzanti*: particelle, *wiskers*, fibre corte e fibre lunghe, proprietà e tecnologie produttive.

#### *Compositi con particelle in varie matrici.*

Tecnologie produttive, proprietà meccaniche e fisiche. Previsioni delle proprietà e modelli.

#### *Compositi con fibre lunghe in varie matrici.*

Tecnologie produttive, proprietà meccaniche e fisiche. Previsioni delle proprietà e modelli.

*Compositi particolari*: multistrati, *in situ*, riporti su substrati.

Applicazioni.

**ESERCITAZIONI.** Tecniche preparative, analitiche, prove meccaniche.

## E 5570      Tecnologia dei materiali e chimica applicata

Anno:periodo 5:2    Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 24 laboratori 6

Prof. Pietro Appendino (Scienza dei materiali e ing. chimica)

REQUISITI. *Chimica*

### PROGRAMMA

Materiali ceramici tradizionali (*gres*, porcellane, argille, ...).

Materiali refrattari (silico-alluminosi, magnesiaci, dolomitici, cromo-magnesiaci, zircono, grafitici).

Materiali ceramici strutturali (allumina, BN, SiN, SiC, ZrO) per impieghi speciali (utensili, componenti motoristici, scambiatori di calore, bio-ingegneria, ...), per rivestimenti e quali rinforzanti.

Vetri e vetroceramici; materiali per fibre.

Leganti aerei e leganti idraulici (cementi Portland, alluminoso, pozzolanico, siderurgico, sores, ...), calcestruzzo-cemento armato, calcestruzzi leggeri, additivi per calcestruzzo.

Acque, acque industriali, depurazione delle acque di scarico.

Materiali per la produzione di energia: combustibili liquidi, solidi, gassosi; materiali per impieghi nucleari; materiali per conversione fotovoltaica; pile a combustibile.

Materiali propellenti: solidi e liquidi.

Materiali lubrificanti: solidi, liquidi, pastosi.

Materiali ricoprenti: lacche, vernici, smalti.

ESERCITAZIONI. Proprietà e caratteristiche tecnologiche dei materiali. Criteri di valutazione e calcoli relativi.

LABORATORI. Saggi analitici e tecnologici su acque, combustibili, lubrificanti, materiali leganti e metalli.

### BIBLIOGRAFIA

C. Brisi, *Chimica applicata*, Levrotto & Bella, Torino, 1981.

P. Appendino, C. Gianoglio, *Esercizi di chimica applicata*, CELID, 1989.

## E 5692    Tecnologie e materiali per l'elettronica 2

Anno:periodo 5:2    Impegno (ore): lezioni 65    laboratori 20    (settimanali 4/2)

*Docente da nominare*

Il corso è un naturale complemento di *Tecnologie e materiali per l'elettronica 1*, affrontando in particolare le problematiche connesse alle proprietà chimico-fisiche e alla preparazione e caratterizzazione di materiali e strutture avanzate dell'elettronica e optoelettronica basati su multietterostrutture esibenti proprietà quantistiche.

### REQUISITI.

*Dispositivi elettronici 1, Tecnologie e materiali per l'elettronica 1.* Sono inoltre consigliati *Elettronica dello stato solido* e *Dispositivi elettronici 2.*

### PROGRAMMA

*Proprietà dei materiali semiconduttori e eterostrutture.*

Rapporto tra composizione chimica, struttura cristallina e proprietà fisiche di materiali. Strutture quantistiche: *quantum well, quantum wire, quantum dot* e *tunneling* risonante. Teoria della nucleazione e crescita degli strati epitassiali e delle multistrutture.

Proprietà strutturali, ottiche ed elettriche di materiali massivi e a multietterostruttura.

*Caratterizzazioni avanzate dei semiconduttori.*

Caratterizzazioni microanalitiche e composizionali (microanalisi X, AES, SIMS, RBS).

Caratterizzazioni strutturali e morfologiche (SEM, TEM, HRXRD, DCDXRT, STM, AEF, CL).

Caratterizzazioni elettriche: effetto Hall in temperatura, magnetoresistenza, fotoconduzione.

Caratterizzazioni ottiche (LTPL, assorbimento e saturazione da assorbimento, IR, Raman).

Laboratori di caratterizzazione (esercitazioni pratiche).

*Tecnologie speciali.*

Litografia elettronica EBL.

Studio di un processo tecnologico completo di un dispositivo elettronico o optoelettronico avanzato.

Tecniche speciali di crescita epitassiale (ALE, ricrescita selettiva).

Tecnologie di materiale amorfo.

**ESERCITAZIONI.** Sono previste esercitazioni di caratterizzazione in laboratorio.

## E 5710 Tecnologie metallurgiche

Anno: periodo 5/2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 25 laboratori 14 (settimanali 5/3)

Prof. Mario Rosso (Scienza dei materiali e ing. chimica)

Il corso ha come scopo lo studio comparativo dei processi e delle tecnologie di formatura e di giunzione dei particolari metallici. In particolare vengono studiati e confrontati i processi di deformazione plastica, fonderia e metallurgia delle polveri.

Dopo aver approfondito i principi fondamentali su cui si basano le tre tecnologie, vengono esaminati i processi e gli impianti utilizzati, i rispettivi settori di applicazione ed i materiali metallici, compresi i compositi a matrice metallica, idonei ai singoli processi. Infine sono trattate le tecniche di giunzione.

Uno stretto contatto con le realtà industriali più significative, esplicitandosi anche con visite appositamente programmate, fornisce un contenuto pratico al corso e favorisce un migliore aggiornamento su evoluzione e innovazione tecnologica. Sono previste lezioni, esercitazioni, laboratori e visite ad industrie.

### PROGRAMMA

#### *Deformazione plastica.*

Richiami alla teoria della plasticità ed ai meccanismi di formatura. Caratteristiche di formabilità delle leghe metalliche. Fenomeni di attrito e lubrificazione. Fucinatura e stampaggio. Laminazione. Estrusione. Trafilatura. Imbutitura.

#### *Fonderia.*

Richiami ai principi della solidificazione. Impianti per la fusione industriale di metalli e leghe. Modelli, anime e forme. Analisi dei diversi processi di formatura e di colata. Controllo e finitura dei getti. Vantaggi dei processi di fonderia.

#### *Metallurgia delle polveri.*

Produzione e caratterizzazione delle polveri. Miscelazione e compattazione, relativi impianti. Forme limite. Analisi del processo di sinterizzazione, sinterizzazione attivata. Forni e atmosfere di sinterizzazione. Lavorazioni complementari. Controllo, finitura e applicazioni dei sinterizzati. Confronto tra le differenti alternative tecnologiche e criteri di scelta. Ottimizzazione tecnico-economica ed indici di costo.

#### *Tecniche di giunzione.*

Concetto di saldabilità e metallurgia della saldatura. Saldatura ad arco, a scoria conduttrice, a resistenza, a frizione, a gas, a laser e a plasma. Brasatura.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI

Vengono sviluppati esempi applicativi e di calcolo sugli argomenti oggetto delle lezioni. Le prove in laboratorio riguarderanno le caratteristiche di formabilità e microstrutturali dei materiali assoggettati alle diverse tecnologie.

### BIBLIOGRAFIA

Appunti del corso.

G. Dieter, *Mechanical metallurgy*, McGraw-Hill, Tokyo, 1988.

G. Mazzoleni, *Tecnologia dei metalli*, 3 vol., UTET, Torino, 1980.

E. Mosca, *Metallurgia delle polveri*, AMMA, Torino, 1983.

## Indice alfabetico degli insegnamenti

<i>pag.</i>	<i>corso</i>	<i>[anno:periodo]</i>
11	C0231	Analisi matematica 1 [1:1]
67	E0231	Analisi matematica 1 [1:1]
16	C0232	Analisi matematica 2 [2:1]
72	E0232	Analisi matematica 2 [2:1]
74	E0234	Analisi matematica 3 (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:2]
19	C0290	Applicazioni industriali elettriche [2:2]
74	E0494	Calcolo delle probabilità (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:2]
22	C0510	Calcolo numerico [3:1]
75	E0514	Calcolo numerico (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:2]
91	E0530	Campi elettromagnetici [5:1,2]
44	C0590	Catalisi industriale [5:2]
12	C0621	Chimica 1 [1:1]
16	C0624	Chimica 2 (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:1]
25	C0661	Chimica industriale 1 [3:2]
38	C0665	Chimica industriale 2 + Sicurezza e protezione ambientale nei processi chimici (corso integrato) [5:1]
17	C0694	Chimica organica (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:1]
68	E0620	Chimica [1:1]
92	E0770	Componenti e circuiti ottici [5:1]
44	C0910	Corrosione e protezione dei materiali metallici [5:2]
106	E0910	Corrosione e protezione dei materiali metallici [5:2]
33	C0945	Costruzione di macchine + Disegno tecnico industriale (corso integrato) [4:2]
107	E0940	Costruzione di macchine [5:2]
93	E1020	Costruzione e tecnologia del pneumatico e degli antivibranti [5:1]
34	C1300	Dinamica e controllo dei processi chimici [4:2]
69	E1430	Disegno tecnico industriale [1:2]
88	E1441	Dispositivi elettronici 1 [3:2]
108	E1442	Dispositivi elettronici 2 [5:2]
85	E1530	Economia ed organizzazione aziendale [4:1]

- 20 C1660 Elementi di meccanica teorica e applicata [2:2]
- 76 E1660 Elementi di meccanica teorica e applicata [2:2]
- 39 C1680 Electrochimica e tecnologie elettrochimiche [5:1]
- 45 C1700 Elettrometallurgia [5:2]
- 109 E1700 Elettrometallurgia [5:2]
- 40 C1710 Elettronica applicata [5:1]
- 78 E1710 Elettronica applicata [3:1]
- 94 E1750 Elettronica dello stato solido [5:1]
- 72 E1790 Elettrotecnica [2:1]
- 13 C1901 Fisica 1 [1:2]
- 70 E1901 Fisica 1 [1:2]
- 18 C1902 Fisica 2 [2:1]
- 73 E1902 Fisica 2 [2:1]
- 95 E1994 Fisica delle superfici (corso ridotto, 1/2 annualità) [5:1]
- 110 E2024 Fisica e ingegneria dei plasmi (corso ridotto, 1/2 annualità) [5:2]
- 83 E2060 Fisica tecnica [3:2]
- 14 C2170 Fondamenti di informatica [1:2]
- 70 E2170 Fondamenti di informatica [1:2]
- 15 C2300 Geometria [1:2]
- 71 E2300 Geometria [1:2]
- 46 C2590 Impianti biochimici [5:2]
- 35 C2601 Impianti chimici 1 [4:2]
- 41 C2605 Impianti chimici 2 + Ingegneria chimica ambientale (corso integrato) [5:1]
- 47 C2610 Impianti chimici e processi dell'industria alimentare [5:2]
- 96 E2600 Impianti chimici [5:1]
- 48 C2660 Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti [5:2]
- 97 E2730 Impianti meccanici [5:1]
- 98 E2740 Impianti metallurgici [5:1]
- 20 C3040 Istituzioni di economia [2:2]
- 28 C3110 Macchine [4:1]
- 86 E3110 Macchine [4:1]
- 88 E3180 Materiali metallici [4:2]
- 111 E3265 Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (corso integrato) [5:2]
- 26 C3420 Metallurgia [3:2]
- 49 C3430 Metallurgia fisica [5:2]
- 83 E3420 Metallurgia [3,4:2]

- 88 E3560 Microelettronica [4:2]
- 87 E3670 Misure elettroniche [4:1]
- 112 E3870 Optoelettronica [5:2]
- 99 E3880 Ottica [5:1]
- 113 E3950 Plasticità e lavorazioni per deformazione plastica [5:2]
- 36 C3980 Principi di ingegneria biochimica [4:2]
- 27 C3991 Principi di ingegneria chimica 1 [3:2]
- 29 C0395 Principi di ingegneria chimica 2 + Cinetica chimica applicata (corso integrato) [4:1]
- 42 C4030 Processi biologici industriali [5:1]
- 50 C4050 Processi di produzione di materiali macromolecolari [5:2]
- 114 E4050 Processi di produzione di materiali macromolecolari [5:2]
- 43 C4060 Processi di trattamento degli effluenti inquinanti [5:1]
- 51 C4070 Processi elettrochimici [5:2]
- 51 C4080 Processi industriali della chimica fine [5:2]
- 52 C4170 Progettazione di apparecchiature dell'industria chimica [5:2]
- 89 E4370 Proprietà termofisiche dei materiali [4:2]
- 37 C4450 Reattori chimici [4:2]
- 79 E4590 Scienza dei materiali [3:1]
- 23 C4600 Scienza delle costruzioni [3:1]
- 80 E4600 Scienza delle costruzioni [3:1]
- 54 C4638 Scienza e tecnologia dei materiali ceramici [5:2]
- 90 E4630 Scienza e tecnologia dei materiali ceramici [4:2]
- 115 E4640 Scienza e tecnologia dei materiali compositi [5:2]
- 100 E4660 Scienza e tecnologia dei materiali elettrici [5:1]
- 84 E4680 Scienza e tecnologia dei materiali polimerici [3:2]
- 101 E4700 Sensori e trasduttori [5:1]
- 30 C4780 Siderurgia [4:1]
- 102 E4780 Siderurgia [5:1]
- 77 E5340 Struttura della materia [2:2]
- 103 E5404 Superconduttività (corso ridotto, 1/2 annualità) [5:1]
- 55 C5440 Tecnica della sicurezza ambientale [5:2]
- 21 C5570 Tecnologia dei materiali e chimica applicata [2:2]
- 116 E5570 Tecnologia dei materiali e chimica applicata [5:2]
- 31 C5610 Tecnologia del petrolio e petrolchimica [4:1]
- 104 E5640 Tecnologia meccanica [5:1]

105	E5691	Tecnologie e materiali per l'elettronica 1 [5:1]
117	E5692	Tecnologie e materiali per l'elettronica 2 [5:2]
56	C5700	Tecnologie industriali [5:2]
57	C5710	Tecnologie metallurgiche [5:2]
118	E5710	Tecnologie metallurgiche [5:2]
32	C5850	Teoria dello sviluppo dei processi chimici [4,5:1]
24	C5975	Termodinamica dell'ingegneria chimica + Elettrochimica (corso integrato) [3:1]

## Indice alfabetico dei docenti

<i>pag.</i>	<i>Docente</i>	<i>corso</i>	<i>[anno:periodo]</i>
23	Algotino, Franco (Ing. strutturale)	C4600	Scienza delle costruzioni [3:1]
80	=	E4600	Scienza delle costruzioni [3:1]
93	Amato, Ignazio (Chimica)	E1020	Costruzione e tecnologia del pneumatico e degli antivibranti [5:1]
54	=	C4638	Scienza e tecnologia dei materiali ceramici [5:2]
90	=	E4630	Scienza e tecnologia dei materiali ceramici [4:2]
28	Andriano, Matteo (Energetica)	C3110	Macchine [4:1]
86	=	E3110	Macchine [4:1]
21	Appendino, Pietro (Chimica)	C5570	Tecnologia dei materiali e chimica applicata [2:2]
116	=	E5570	Tecnologia dei materiali e chimica applicata [5:2]
32	Arena, Umberto (Chimica)	C5850	Teoria dello sviluppo dei processi chimici [4,5:1]
27	Baldi, Giancarlo (Chimica)	C3991	Principi di ingegneria chimica I [3:2]
105	Bava, Gian Paolo (Elettronica)	E5691	Tecnologie e materiali per l'elettronica I [5:1]
72	Boieri, Paolo (Matematica)	E0232	Analisi matematica 2 [2:1]
20	Bresso, Mercedes (Idraul., trasp., infrastr. civ.)	C3040	Istituzioni di economia [2:2]
26	Burdese, Aurelio (Chimica)	C3420	Metallurgia [3:2]
83	=	E3420	Metallurgia [3,4:2]
30	=	C4780	Siderurgia [4:1]
102	=	E4780	Siderurgia [5:1]
83	Calì, Michele (Energetica)	E2060	Fisica tecnica [3:2]
15	Catellani, Nives (Matematica)	C2300	Geometria [1:2]
35	Conti, Romualdo (Chimica)	C2601	Impianti chimici I [4:2]
20	D'Alfio, Nicolò (Meccanica)	C1660	Elementi di meccanica teorica e applicata [2:2]
72	Daniele, Vito (Elettronica)	E1790	Elettrotecnica [2:1]
12	De Benedetti, Bruno (Chimica)	C0621	Chimica I [1:1]
68	=	E0620	Chimica [1:1]
45	=	C1700	Elettrometallurgia [5:2]
109	=	E1700	Elettrometallurgia [5:2]
49	=	C3430	Metallurgia fisica [5:2]

87	De Marchi, Andrea (Elettronica)	E3670	Misure elettroniche [4:1]
101	=	E4700	Sensori e trasduttori [5:1]
11	De Stefano Viti, Stefania (Matematica)	C0231	Analisi matematica 1 [1:1]
67	=	E0231	Analisi matematica 1 [1:1]
16	Ferrero, Franco (Chimica)	C0624	Chimica 2 (1/2) [2:1]
17	=	C0694	Chimica organica (1/2) [2:1]
51	=	C4080	Processi industriali della chimica fine [5:2]
111	Firrao, Donato (Chimica)	E3265	Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (int.) [5:2]
14	Gai, Silvano (Autom. inform.)	C2170	Fondamenti di informatica [1:2]
70	=	E2170	Fondamenti di informatica [1:2]
42	Genon, Giuseppe (Chimica)	C4030	Processi biologici industriali [5:1]
41	Gianetto, Agostino (Chimica)	C2605	Impianti chimici 2 + Ingegneria chimica ambientale (int.) [5:1]
79	Gianoglio, Carlo (Chimica)	E4590	Scienza dei materiali [3:1]
50	Gozzelino, Giuseppe (Chimica)	C4050	Processi di produzione di materiali macromolecolari [5:2]
114	=	E4050	Processi di produzione di materiali macromolecolari [5:2]
31	=	C5610	Tecnologia del petrolio e petrolchimica [4:1]
88	Gregoretti, Francesco (Elettronica)	E3560	Microelettronica [4:2]
44	Iannibello, Antonio (Chimica)	C0590	Catalisi industriale [5:2]
44	Maja, Mario (Chimica)	C0910	Corrosione e protezione dei materiali metallici [5:2]
106	=	E0910[0920]	Corrosione e protezione dei materiali metallici [5:2]
24	=	C5975	Termodinamica dell'ingegneria chimica + Elettrochimica (int.) [3:1]
16	Mascarello, Maria (Matematica)	C0232	Analisi matematica 2 [2:1]
100	Mazza, Daniele (Chimica)	E4660	Scienza e tecnologia dei materiali elettrici [5:1]
37	Mazzarino, Italo (Chimica)	C4450	Reattori chimici [4:2]
77	Mazzetti, Piero (Fisica)	E5340	Struttura della materia [2:2]
99	Miraldi, Elio (Fisica)	E3880	Ottica [5:1]
97	Monte, Armando (Idraul., trasp., infrastr. civ.)	E2730	Impianti meccanici [5:1]
112	Montrosset, Ivo (Elettronica)	E3870	Optoelettronica [5:2]
22	Moroni, Paola (Matematica)	C0510	Calcolo numerico [3:1]
88	Naldi, Carlo (Elettronica)	E1441	Dispositivi elettronici 1 [3:2]
108	=	E1442	Dispositivi elettronici 2 [5:2]

73	Omini, Marco (Fisica)	E1902	Fisica 2 [2:1]
75	Orsi Palamara, Anna Maria (Matematica)	E0514	Calcolo numerico (1/2) [2:2]
91	Orta, Renato (Elettronica)	E0530	Campi elettromagnetici [5:1,2]
92	=	E0770	Componenti e circuiti ottici [5:1]
113	Perotti, Giovanni (Sist. produzione)	E3950	Plasticità e lavorazioni per deformazione plastica [5:2]
19	Pessina, Gaetano (Ing. elettrica)	C0290	Applicazioni industriali elettriche [2:2]
74	Piazzese, Franco (Matematica)	E0494	Calcolo delle probabilità (1/2) [2:2]
38	Piccinini, Norberto (Chimica)	C0665	Chimica industriale 2 + Sicurezza e protezione ambientale nei processi chimici (int.) [5:1]
55	=	C5440	Tecnica della sicurezza ambientale [5:2]
33	Podda, Giovanni (Sist. produzione)	C0945	Costruzione di macchine + Disegno tecnico industriale (int.) [4:2]
69	=	E1430	Disegno tecnico industriale [1:2]
84	Priola, Aldo (Chimica)	E4680	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici [3:2]
85	Prosperetti, Luigi (Sist. produzione)	E1530	Economia ed organizzazione aziendale [4:1]
103	Rasetti, Mario (Fisica)	E5404	Superconduttività (1/2) [5:1]
33	Roccati, Giovanni (Meccanica)	C0945	Costruzione di macchine + Disegno tecnico industriale (int.) [4:2]
111	Rossetto, Massimo (Meccanica)	E3265	Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (int.) [5:2]
98	Rosso, Mario (Chimica)	E2740	Impianti metallurgici [5:1]
57	=	C5710	Tecnologie metallurgiche [5:2]
118	=	E5710	Tecnologie metallurgiche [5:2]
34	Rovero, Giorgio (Chimica)	C1300	Dinamica e controllo dei processi chimici [4:2]
52	=	C4170	Progettazione di apparecchiature dell'industria chimica [5:2]
46	Ruggeri, Bernardo (Chimica)	C2590	Impianti biochimici [5:2]
25	Saracco, Giovanni B. (Chimica)	C0661	Chimica industriale 1 [3:2]
29	Sicardi, Silvio (Chimica)	C0395	Principi di ingegneria chimica 2 + Cinetica chimica applicata (int.) [4:1]
76	Sorli, Massimo (Meccanica)	E1660	Elementi di meccanica teorica e applicata [2:2]
48	Specchia, Vito (Chimica)	C2660	Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti [5:2]
39	Spinelli, Paolo (Chimica)	C1680	Elettrochimica e tecnologie elettrochimiche [5:1]
51	=	C4070	Processi elettrochimici [5:2]
13	Stepanescu Sansoè, Aurelia (Fisica)	C1901	Fisica 1 [1:2]
70	=	E1901	Fisica 1 [1:2]
71	Tedeschi, Giulio (Matematica)	E2300	Geometria [1:2]

74	Teppati, Giancarlo (Matematica)	E0234	Analisi matematica 3 (1/2) [2:2]
56	Testore, Francantonio (Chimica)	C5700	Tecnologie industriali [5:2]
18	Trossi, Laura (Fisica)	C1902	Fisica 2 [2:1]
40	Zamboni, Maurizio (Elettronica)	C1710	Elettronica applicata [5:1]
78	=	E1710	Elettronica applicata [3:1]
91	Zich, Rodolfo (Elettronica)	E0530	Campi elettromagnetici [5:1,2]