

**Guide ai programmi dei corsi  
1994/95**



**Politecnico di Torino**

**Ingegneria dei materiali**

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

*Corso di laurea**Presidente**Settore civile/edile:*

Prof. Giovanni Barla

Ingegneria civile

Ingegneria edile

Ingegneria aeronautica

Prof. Gianfranco Chiocchia

Ingegneria chimica

Prof. Vito Specchia

Ingegneria dei materiali

Prof. Carlo Gianoglio

Ingegneria elettrica

Prof. Franco Villata

Ingegneria meccanica

Prof. Rosolino Ippolito

Ingegneria nucleare

Prof. Evasio Lavagno

*Settore dell'informazione:*

Prof. Paolo Prinetto

Ingegneria delle telecomunicazione

Ingegneria elettronica

Ingegneria informatica

Ingegneria gestionale

Prof. Agostino Villa

Ingegneria per l'ambiente e il territorio

Prof. Antonio Di Molfetta

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

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

## Indice

- 5 Ingegneria dei materiali : Presentazione
- 11 Programmi degli insegnamenti
- 67 Indice alfabetico degli insegnamenti
- 69 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 1994/95 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 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 preso 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'analogia 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 unificanti 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 secondo 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

E1441 : Dispositivi elettronici 1

---

4:1

E3110 : Macchine

E1530 : Economia ed organizzazione aziendale

E4630 : Scienza e tecnologia dei materiali ceramici

---

4:2 E3670 : Misure elettroniche

E3180 : Materiali metallici

Y<sub>1</sub>

---

5:1 E2730 : Impianti meccanici oppure

E2740 : Impianti metallurgici oppure

E2600 : Impianti chimici

Y<sub>2</sub>Y<sub>4</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.

##### *Materiali metallici e metallurgia*

- Y(1) 2 E4640 - Scienza e tecnologia dei materiali compositi (\*)  
 Y(2) 1 E3265 - Meccanica dei materiali/Metallurgia meccanica (i)  
 Y(3) 2 E0910 - Corrosione e protezione dei materiali metallici  
 Y(4) 2 E5710 - Tecnologie metallurgiche  
 Y(5) vedi Tabella A

##### *Materiali per elettronica e optoelettronica*

- Y(1) 2 E4640 - Scienza e tecnologia dei materiali compositi (\*)  
 Y(2) 1 E5691 - Tecnologie e materiali per l'elettronica I  
 Y(3) 2 E4370 - Proprietà termofisiche dei materiali  
 Y(4) 1 E1750 - Elettronica dello stato solido  
 Y(5) vedi Tabella B

##### *Materiali ceramici, polimerici e compositi*

- Y(1) 2 E4640 - Scienza e tecnologia dei materiali compositi (\*)  
 Y(2) 1 E5404 - Superconduttività (r)  
 Y(2) 1 E1994 - Fisica delle superfici (r)  
 Y(3) 2 E4370 - Proprietà termofisiche dei materiali  
 Y(4) 2 E4050 - Processi di produzione dei materiali macromolecolari  
 Y(5) vedi Tabella C

(\*) Coloro che hanno già seguito Proprietà termofisiche dei materiali (E 4370) dovranno seguire al quint'anno Y(1).

##### Tabella A

- 2 E3950 - Plasticità e lavorazione per deformazione plastica  
 2 E1700 - Elettrometallurgia  
 2 E1430 - Disegno tecnico industriale  
 1 E5640 - Tecnolologia meccanica  
 2 E4370 - Proprietà termofisiche dei materiali  
 2 E5570 - Tecnologia dei materiali e chimica applicata  
 1 E4780 - Siderurgia

## Tabella B

- 2 E1442 - Dispositivi elettronici II
- 1 E0770 - Componenti e circuiti ottici
- 2 E3880 - Ottica
- 1 E1994 - Fisica delle superfici (r)
- 1 E5404 - Superconduttività (r)
- 1 E4700 - Sensori e trasduttori
- 2 E3870 - Optoelettronica
- 2 E0530 - Campi elettromagnetici
- 2 E5692 - Tecnologie e materiali per l'elettronica II

## Tabella C

- 2 E3950 - Plasticità e lavorazione per deformazione plastica
- 2 E1430 - Disegno tecnico industriale
- 1 E5640 - Tecnologia meccanica
- 2 E5570 - Tecnologia dei materiali e chimica applicata
- 1 E1660 - Scienza e tecnologia dei materiali elettrici

# 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.*

## E 0231      Analisi matematica 1

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

*Docente da nominare*

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. Sbordonone, *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 78 esercitazioni 26 (settimanali 6/2)

Prof. E. Angelini, Prof. A. Delmastro, D. Mazza

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.

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

## E 2170 Fondamenti di informatica

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

Docente da nominare (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 70 esercitazioni 40 (settimanali 6/4)

Docente da nominare

Il corso si propone di fornire la conoscenza e di abituare all'uso di alcuni concetti algebrici (numeri complessi, sistemi di equazioni lineari, autovalori e autovettori) e geometrici (rette e curve nel piano, rette, curve, piani e superfici nello spazio) utili in un vasto ventaglio di applicazioni all'ingegneria. È presupposta, in quanto frequentemente utilizzata, la conoscenza del programma di Analisi matematica I.

### PROGRAMMA.

Dopo un capitolo sostanzialmente autonomo sui numeri complessi e le equazioni algebriche si passa alla nozione di spazio vettoriale presentata come spontanea generalizzazione dei vettori della fisica. Con l'aiuto di questo concetto fortemente unificante si studiano poi gli operatori lineari, le matrici, i sistemi di equazioni

lineari, gli autovalori ed autovettori, anche in vista della risoluzione di equazioni differenziali. Nella seconda parte del corso si passa ad aspetti più intuitivamente geometrici come lo studio di curve nel piano e di curve e superfici nello spazio mediante la ricerca di loro equazioni cartesiane e parametriche illustrando come ricavare da queste equazioni dati e proprietà utili dell'oggetto geometrico studiato. Si accenna infine alla geometria differenziale delle curve trovando quantità ed oggetti che descrivono il comportamento locale di una curva vicino ad un punto. Nelle esercitazioni vengono mostrati esempi significativi dei concetti studiati nelle lezioni.

#### BIBLIOGRAFIA

S. Greco, P. Valabrega, *Lezioni di algebra lineare e geometria*, tomi I e II, Levrotto & Bella, Torino.

AA. VV., *Esercizi di algebra lineare e geometria analitica*, CELID, Torino.

## E 1901 Fisica 1

Anno: periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 (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 0232      **Analisi matematica 2**

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

Prof. Fulvio Ricci (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 tecnico forniti dai corsi di *Analisi matematica* e *Geometria*.

### PROGRAMMA.

Funzioni continue di più variabili.  
Calcolo differenziale 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.

## E 1790 Elettrotecnica

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

Prof. Vito Daniele (Elettronica)

L'elettrotecnica è la scienza che studia e progetta i dispositivi elettromagnetici e le loro connessioni, nell'ipotesi di poter trascurare gli effetti propagativi. È molto diffuso e conveniente l'approccio di descrivere il funzionamento dei dispositivi elettromagnetici attraverso una relazione costitutiva di tipo macroscopico. Ciò conduce alla teoria dei circuiti che costituisce una parte essenziale dell'elettrotecnica. Tuttavia, i principi generali di elettromagnetismo rappresentano anche una parte integrante dell'elettrotecnica e rivestono un'importanza culturale determinante.

### PROGRAMMA

*Introduzione.* 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 le 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, Thevenin, Norton.

*Reti generali costituite di elementi senza memoria ed in regime qualsiasi.* Metodo 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 indotti 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. Casi particolari per reti del primo e secondo ordine.

*Analisi delle reti nel dominio della pulsazione complessa.* Trasformata di Laplace (richiami) Circuiti equivalenti nel dominio della pulsazione complessa. Risposte 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 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. Definizioni in termini energetici di resistenza, induttanza e capacità Circuito equivalente del trasformatore reale. Elettromagnetismo per mezzi in movimento.

*Principi di funzionamento delle macchine elettriche rotanti.* Alternatore e motore asincrono 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

Generalità sui dielettrici. Teorema di Poisson. Cariche di polarizzazione. Campo di Lorentz. Equazione di Clausius-Mossotti. Equazione di Poisson. Condizioni di continuità per i campi  $D$  ed  $E$ .

Relazioni generali tra correnti termiche ed elettriche e campo elettrico e gradiente termico. Legge di Ohm. Effetto Peltier. Effetto Seebeck. coppie termoelettriche.

Campo elettromotore di una pila. Resistenza interna di una pila. Carica e scarica di un condensatore. Leggi di Kirchhoff per un circuito a parametri concentrati. Effetto Joule. Dipoli magnetici. Campi  $H$ ,  $B$ ,  $M$ . Principio di Ampère. Circuitazione del campo magnetico. Potenziale vettore. Legge di Biot e Savart. Campo prodotto da un solenoide indefinito. Equivalenza di una distribuzione di magnetismo e di una distribuzione di correnti. Prima e seconda formula di Laplace. Forza di Lorentz. Moto ciclotronico. Spettrometri di massa. Esperienze di Thomson per il rapporto  $e/m$ .

Galvanometro. Bilancia delle correnti. Ponte di Weathstone. Voltmetri ad assorbimento di corrente. Potenzimetro. Galvanometro balistico.

Descrizione del diamagnetismo. Teoria microscopica del diamagnetismo. Precessione di Larmor. Paramagnetismo. Funzione di Langevin. Ferromagnetismo. Campo di Weiss. Interazione di scambio. Temperatura di Curie. Ciclo di isteresi e sua caratterizzazione sperimentale. Circuiti magnetici. Riluttanza. Elettromagneti. Magneti permanenti.

Legge di Faraday. Lenz. Misura del campo  $B$ . Densità d'energia del campo magnetico Misura delle suscettività magnetiche. Induttanze, circuiti  $R$ ,  $L$ ,  $C$ . Induttanza di un cavo coassiale. Circuito risonante. Analisi di Fourier di un circuito. Mutua induttanza. Onde piane in una corda: progressive, regressive. Analisi di Fourier e vibrazioni armoniche. Equazioni di Maxwell e corrente di spostamento. Onde elettromagnetiche. Lunghezza d'onda. Propagazione in mezzi dispersivi. Onde in un cavo coassiale. Onde elettromagnetiche piane. Vettore di Poynting. Densità di energia del campo elettromagnetico. Velocità di gruppo.

Spettroscopio a prisma. Formule di Fresnel. Angolo di Brewster. Angolo limite e riflessione totale.

Interferenza fra onde. Sorgenti coerenti e incoerenti. Specchio di Lloyd. Lamine sottili piano-parallele. Lamine sottili a cuneo. Interferometro di Michelson. Misura di una lunghezza d'onda. Teoria della diffrazione o con la formulazione di Kirchhoff o con il principio di Huygens-Fresnel. Diffrazione di Fraunhofer. Limiti dell'ottica geometrica. Reticolo di diffrazione e suo potere risolutivo. Potere risolutivo dell'occhio e degli strumenti ottici.

Assi principali di polarizzazione in un cristallo. Ellissoide degli indici e dimostrazione delle sue proprietà. Cristalli uniassici. Onde ordinarie e straordinarie. Costruzione per trovare le normali d'onde rifratte, data l'onda incidente. Determinazione sperimentale degli indici di rifrazione di un cristallo uniassico. Prisma di Nicol. Lamina a quarto d'onda. Analisi della luce con l'uso di un nicol e di una lamina a quarto d'onda.

Dualismo particella - onda. Principio di indeterminazione. Descrizione probabilistica dello stato quantistico di un sistema. Postulati fondamentali della meccanica quantistica. Equazione di Schrödinger.

Particella in una scatola parallelepipeda. Densità degli stati permessi

Equilibrio statistico. Distribuzione di Boltzmann. Definizione statistica della temperatura. Termometro a gas a volume costante.

Sistemi quantistici equivalenti a un insieme di particelle identiche. Oscillatore armonico. Quanti d'energia. Oscillatori armonici in equilibrio statistico. Statistica di Bose-Einstein.

Equivalenza di un'onda elettromagnetica piana monocromatica e di un sistema di due oscillatori armonici.

Corpo nero. Teoria di Plank della radiazione di corpo nero. Legge di Wien. Legge di Stephan-Boltzmann.

Rumore di corrente. Teoria di Nyquist. Spettro di potenza del rumore termico.

1. principio della termodinamica. Quantità di calore. Calorimetro di Bunsen. Principio di equivalenza tra calore e lavoro.

Esperimento di Joule. Trasformazioni termodinamiche reversibili ed irreversibili.

Capacità termiche e calori specifici. Calori latenti. Principio di equipartizione dell'energia.

Adiabatiche reversibili di un gas perfetto. Equazione di Van der Waals. Isoterme di un fluido reale. Punto critico. Tensione di vapore saturo. Ebollizione.

2. principio della termodinamica. Macchine termiche reali e macchine di Carnot.

Teorema di Carnot. Scala termodinamica delle temperature. Zero assoluto. Macchine frigorifere e pompe di calore.

Disuguaglianza di Clausius. Teorema di Clausius. Accrescimento dell'entropia in trasformazioni adiabatiche irreversibili. Entropia e disordine. Relazione di Boltzmann.

Equazione dell'energia. Equazione di Clapeyron. Terzo principio di termodinamica.

Potenziali termodinamici. Energia libera di Gibbs e di Helmholtz.

## 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 transistori di reti elettriche.

## E 0514      **Calcolo numerico**

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 38 esercitazioni 12 (settimanali 3/1)

Prof. Giovanni Monegato (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 1*, 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)

Scopo del corso é fornire i principali elementi teorici e applicativi della Meccanica.

### PROGRAMMA

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

Geometria delle masse: baricentri e momenti d'inerzia.

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 di inerzia; equazioni di equilibrio della dinamica; teorema dell'energia; quantità' di moto e momento della quantità' di moto; urti.

Forze agenti negli accoppiamenti: aderenza e attrito, attrito nei perni, impuntamento; attrito volvente.

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 del moto continuo in moto intermittente e in moto alternativo; freni a tamburo, a disco e a nastro; lavoro dissipato nei freni; frizioni a disco e 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. I e vol. II, Ed. Levrotto & Bella, Torino

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

Jacazio, Piombo, *Esercizi di Meccanica applicata alle macchine*, Ed. 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, autointerstiziali, 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): lezioni 52 esercitazioni 52 laboratori 12 (settimanali 4/4/1)

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. Sono propedeutiche le nozioni del corso di Elettrotecnica..

### 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. Modello ideale e reale. Stabilità.

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 1 Hold. Sistemi di acquisizione dati.

Elettronica digitale: cenni all'algebra di Boole. Circuiti logici combinatori e sequenziali. Famiglie logiche bipolari e MOS. Accenni alla tecnologia VLSI. Organizzazione architetturale di un elaboratore.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI.

Le esercitazioni riguardano l'approfondimento dei concetti definiti a lezione e portano al progetto di semplici circuiti esemplificativi. In alcuni casi i circuiti progettati ad esercitazione saranno realizzati in laboratorio..

### BIBLIOGRAFIA.

T.F. Bogart, *Electronic devices and circuits*, Merril-Macmillan, 1993.

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

E. Cuniberti et al., *Elettronica-Componenti e tecniche circuitali*, Petrini Editore, 1993.

Indicazioni bibliografiche di testi di consultazione verranno fornite durante il corso..

## E 4590      Scienza dei materiali

Anno: periodo 3:1    Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 26 (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, II-VI 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. MOCVD, LPE, MBE. Interconnessioni metalliche, elettromigrazione, *packaging* e *testing*. Resistori integrati. Modelli di processo.

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 transistorore; 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: transistorore planare *npn*; per applicazioni analogiche e digitali; transistorore parassita, transistorori *pnp*. 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 scalamiento 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 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)

Scopo del corso è di fornire le conoscenze di base sulla struttura dei materiali polimerici, sulle loro proprietà e sulle tecnologie di trasformazione. Particolare importanza viene data all'esame della correlazione tra la proprietà e la struttura molecolare e la morfologia di questi materiali. Nella seconda parte sono trattate le tecnologie di trasformazione impiegate industrialmente e i più recenti sviluppi applicativi.

### PROGRAMMA

*Aspetti generali.* Legami chimici e strutture molecolari organiche. Stereochimica. Materie prime; monomeri.

*Struttura e caratterizzazione delle macromolecole.* Pesi molecolari e loro distribuzione. Forze di coesione intermolecolari, regolarità e flessibilità della catena polimerica. Struttura supermolecolare: morfologia dello stato amorfo e cristallino. Reticoli polimerici, densità di reticolazione. Caratterizzazione termica e chimico-fisica dei polimeri.

*Principali tipi di polimeri industriali.* Polimeri di policondensazione e di poliaddizione. Processi di produzione dei principali polimeri termoplastici, fibre ed elastomeri. Polimeri di impiego generale e tecnopolimeri.

*Proprietà dei polimeri in massa.* Proprietà termiche: fenomeni di fusione e transizione vetrosa. Capacità termica, dilatazione, conducibilità. Proprietà meccaniche: resistenza a trazione, al taglio, a compressione. Resilienza. Resistenza a fatica. Comportamento viscoelastico dei polimeri. Reologia dei polimeri fusi. Equazione di WLF. Proprietà dinamo-meccaniche. 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. Vetri organici.

*Additivi e agenti modificanti nei materiali polimerici.* Plastificanti, pigmenti, cariche, agenti rinforzanti: influenza sulle proprietà dei materiali. Additivi antiossidanti. Processi di invecchiamento dei polimeri. Reazioni di degradazione. Impiego di agenti stabilizzanti. Additivi antifiama.

*Tecnologie di trasformazione.* Polimeri termoplastici: tecnologie di iniezione, estrusione, calandratura, termoformatura; stampaggio rotazionale, spalmatura.

*Polimeri termoindurenti:* poliuretani, poliesteri insaturi e altri tipi di resine. Tecnologie di trasformazione. Tecnologia delle gomme. Materiali polimerici espansi. Leghe polimeriche. Polimeri per vernici ed adesivi. Compositi a matrice polimerica.

Tecnologie di produzione. I polimeri e l'ambiente: tecnologie di riciclo dei materiali polimerici, smaltimento dei rifiuti plastici.

#### ESERCITAZIONI E LABORATORI

Oltre ad esercitazioni con applicazioni di calcolo degli argomenti di lezione sono previste esercitazioni sperimentali di laboratorio in particolare sulle proprietà meccaniche dei polimeri. Visite ad impianti di trasformazione delle materie plastiche.

#### BIBLIOGRAFIA

- Scienza e tecnologia delle macromolecole, a cura dell'AIM*, Vol. II, Pacini, Pisa, 1983  
D.W. Van Krevelen, *Properties of Polymers*, Elsevier Publ. Amsterdam, 1976  
L.E. Nielsen, *Mechanical properties of polymers and composites*, M. Dekker, New York, 1994  
F. Rodriguez, *Principles of polymer systems*, Mc Graw, New York, 1982

## 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 domande 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.

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.

**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, Torino.

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

## E 4630      **Scienza e tecnologia dei materiali ceramici**

Anno: periodo 4:1    Impegno (ore): lezioni 72    esercitazioni 15    (settimanali 6/1/1)

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.

Nozioni propedeutiche: Chimica, Scienza dei Materiali, Struttura della materia.

### PROGRAMMA

I solidi: fondamenti teorici. L'ordine nei solidi. Proprietà e struttura cristallina. Solidi ionici e covalenti. Solidi duttili e solidi fragili. Le proprietà meccaniche dei solidi e la tenacità alla frattura. Solidi policristallini ed analisi ceramografica. Proprietà delle superfici: tensione superficiale, bagnabilità, assorbimento.

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.

Ceramici fini: caratteristiche, impieghi attuali, potenzialità del settore. I ceramici fini e lo sviluppo delle nuove tecnologie. La trasversalità degli impieghi e l'effetto moltiplicatore di innovazione.

Le polveri neoceramiche; caratteristiche. Sintesi da soluzioni: sol-gel, estrazione solvente.

Sintesi in fase vapore: condensazione (aerosol), reazione (plasma, laser).

Additivi di processo: liquidi ed attivatori di bagnabilità, disperdenti e coagulanti, leganti plasticizzanti lubrificanti.

Meccanica delle particelle e reologia.

Processi di formatura. Formatura per pressatura a sacco.

Formatura in regime plastico (estrusione). Formatura da sospensioni stabili (colaggio).

Trattamenti termici di essiccamento, presinterizzazione e sinterizzazione.

Ceramici funzionali: ferriti, sensori, elettroliti solidi, substrati.

Ceramici strutturali: il nitruro ed il carburo di silicio. Allumina e zirconia tenacizzata.

Boruri e Silicuri. Criteri di progettazione e prova. Impieghi reali e potenziali.

Ceramici per rivestimento: criteri di progettazione. I materiali ceramici per rivestimento. Le tecniche: CVD, PVD, sputtering, implanazione 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 Whisker: proprietà e tecnologie. Criteri di progettazione e modalità di impiego dei compositi. I monocompositi.

I ceramici-metallo (cermet): processi, proprietà, applicazioni.

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: il sialon ed i ceramici rinforzati. Utensili superduri: il nitruro di boro. Gli abrasivi.

Neoceramici: impatto economico ed avanzamento tecnologico.

**BIBLIOGRAFIA**

G. Aliprandi, *Principi di ceramurgia e tecnologia ceramica*, E.C.I.G., Genova.

A. Holden, *La fisica dei solidi*, Mondadori, Milano.

G.C. Kuczynski, *Sintering and related phenomena*, Plenum Press, N.Y.

J.E. Burke, *Progress in Ceramic Science*, vol. 3, Pergamon Press, N.Y.

R. Sersale, *I materiali ceramici ordinari e speciali*, ambrosiana Editrice, Milano.

P.W. McMillan, *Glass-ceramics*, Accademic Press, N.Y.

J.S. Reed, *Introduction to the principles of Ceramic Processing*, John Wiley Ed., N.Y.

## E 3670 Misure elettroniche

Anno:periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni e laboratori 40 (settimanali 6/4)

Prof. Ernesto Arri (Dip. di Automatica e Informatica)

Il corso intende fornire le nozioni di base sui metodi, gli strumenti e i sistemi di misura impiegati per studiare le proprietà dei materiali, valutarne i parametri ed eseguirne la verifica automatica lungo l'intera catena produttiva. Presentati i fondamenti della scienza delle misure e le organizzazioni che operano nell'ambito attuale della normativa e della certificazione dei prodotti per garantirne la qualità, vengono illustrati sia i componenti essenziali dei dispositivi per misurazione, sia i principali strumenti analogici e numerali implicati nei processi indicati, nonché le architetture più utilizzate per i sistemi automatici di acquisizione e distribuzione di dati.

### PROGRAMMA.

*Organizzazione per la qualità dei prodotti.*

Garanzia di qualità dei prodotti e dei servizi. Sicurezza, affidabilità e disponibilità di un prodotto. Certificazione dei prodotti. Organismi metrologici normativi, di accreditamento e di certificazione internazionali, europei, comunitari e nazionali.

*Misurazione e misura*

Fondamenti di teoria della misurazione. Fenomeni fisici e relativi modelli. Grandezze misurabili. Unità di misura. Sistema Internazionale di Unità (SI).

Misura. Fascia di valore. Incertezza. Incertezza intrinseca. Normativa attuale sulla valutazione delle incertezze. Incertezze di categoria A e B. Composizione di incertezze. Compatibilità di più misure.

Misurazione. Misurando. Segnale e rumore. Carico strumentale. Grandezze d'influenza. Metodi di misurazione: diretti (per indicazione e per confronto), indiretti, a letture ripetute.

Misurazione di grandezze fisiche qualsiasi mediante trasduzione in grandezze elettromagnetiche.

Procedimento logico operativo per l'esecuzione di una misurazione.

*Dispositivi per misurazione.*

Campioni. Strumenti. Rivelatori di zero. Catene per misurazione.

Caratteristiche metrologiche dei dispositivi per misurazione. Lettura. Incertezza strumentale. Diagramma di taratura. Risoluzione. Classe di precisione. Riferibilità di dispositivi per misurazione.

Componenti di un dispositivo per misurazione. Trasduttori. Convertitori: c.a.-c.c., A/D e D/A.

Principali strumenti analogici, numerali, "intelligenti". Oscilloscopi. Principali dispositivi per confronto.

Sensori: attivi e passivi. Caratteristiche generali. Principali tipi. Sensori "intelligenti".

*Sistemi automatici per misurazione.*

Principali tipi di architetture per acquisizione e distribuzione di dati. Elementi fondamentali: elaboratori, controllori, multiplatori, interfacce, connessioni o "bus", protocolli. Norme relative.

*Misurazioni sui materiali.*

Misurazioni dei principali parametri magnetici, dielettrici, meccanici, termici, ottici.

Misurazioni di: temperatura, umidità, pressione, resistività, permittività, permeabilità, perdite dielettriche e magnetiche, densità, viscosità, dilatazione, deformazione, durezza. Prove non distruttive.

**ESERCITAZIONI.**

Le esercitazioni in aula consistono in esemplificazioni pratiche e applicazioni di tipo numerico e grafico degli argomenti trattati in lezione.

**LABORATORI.**

Le esercitazioni sperimentali in laboratorio, svolte dagli studenti suddivisi in gruppi, hanno lo scopo di fare acquisire familiarità con gli strumenti e i metodi di misurazione presentati a lezione.

## **E 3180    Materiali metallici**

Anno:periodo 4:2    Impegno (ore settimanali): lezioni 8

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

**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. Trattamenti 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 4640    **Scienza e tecnologia dei materiali compositi**

Anno: periodo 4:2    Impegno (ore): lezioni 78 laboratori 26    (settimanali 6/2)

Prof. Francesco Marino (Chimica)

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 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 irradiati, 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 1430 Disegno tecnico industriale

Anno:periodo 5:0 Impegno (ore): lezioni 48 esercitazioni 72 (settimanali 4/6)

### *Docente da nominare*

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.

### 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 1750 Elettronica dello stato solido

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 52 esercitazioni 24 laboratori 20 (settimanali 4/2/2)

[Corso non attivato nel 1994/95]

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, HBJT.

#### *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 (spettroscopia 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

Anno: periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 60 esercitazioni 40 (settimanali 4/3)

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

Il corso si propone di introdurre elementi fondamentali relativi ai fenomeni di trasporto che sono alla base dei processi di trasformazione dei materiali e dei relativi impianti; inoltre verranno fornite le conoscenze indispensabili di impiantistica generale e di settore con spunti di calcolo di progetto.

Il corso si articolerà in lezioni ed esercitazioni sia di calcolo che sperimentali.

### PROGRAMMA

Bilanci di materia, energia, quantità di moto; equazione generalizzata di Bernoulli per fluidi incomprimibili (liquidi) e comprimibili (gas).

*Elementi di reologia*: fluidi newtoniani; fluidi non newtoniani; viscoelasticità; reologia delle sospensioni, soluzioni polimeriche e materiali fusi.

*Trasporto di fluidi*: richiami di turbolenza ed attrito nei condotti; pompe, soffianti e compressori; *piping* per il trasferimento di fluidi (con particolare riguardo ai fluidi viscosi e alle sospensioni di solido).

*Miscelazione ed agitazione*: principi dell'agitazione (potenza dissipata, portata di pompaggio dell'agitatore, linee di flusso macroscopiche); agitazione di fluidi viscosi e non newtoniani e relativi impianti; sospensione di solidi, agitazione di sospensioni e relativi impianti; *blending* di polveri con riguardo alla loro aggregazione e dimensione e relativi impianti.

*Trasporto di calore*: richiami di convezione forzata, naturale e radiazione; coefficienti di scambio anche in presenza di cambi di fase (evaporatori, condensatori); apparecchiature di scambio termico; forni: tipologia e principi di calcolo.

*Trasporto di materia*: principi della diffusione, dello scambio di materia interfase e coefficienti di scambio; apparecchiature di scambio di materia con particolare riguardo al problema solido-liquido (lisciviazione); precipitazione e cristallizzazione da soluzioni; trasporto di materia e reazione chimica in tecnologie speciali per materiali (PVD, CVD).

*Trattamento di materiali solidi*: essiccamento; scorrimento per gravità da tramogge; fluidizzazione e trasporto pneumatico.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consisteranno in spunti di progettazione di piccoli impianti descritti a lezione. Una esemplificazione degli argomenti trattati ad esercitazione è il seguente: servizi generali; *layout* di impianto; progettazione quadro controllo e allarmi; progettazione sistema di pompaggio liquidi; progetto di miscelatori; progetto di essiccatore di materiale polverulento; scambio termico per irraggiamento.

## 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): lezioni 90 complessive (settimanali 4/4)

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

Il corso ha lo scopo di far conoscere gli impianti industriali per la produzione e la trasformazione dei materiali, fornendo criteri di progettazione, conduzione e gestione degli impianti stessi. Il programma, di carattere teorico-pratico, tiene conto del curriculum didattico fin qui seguito dai futuri ingegneri dei materiali e sarà articolato in lezioni ed esercitazioni.

**REQUISITI:** *Fisica tecnica*

### PROGRAMMA

Nozioni di disegno tecnico.

Teoria e tecnologia del trasferimento di materia. Trattamento, trasporto e stoccaggio di solidi e fluidi.

Teoria e tecnologia del trasferimento di calore. Forni: fusori, di elaborazione, di riscaldamento, di produzione di atmosfere controllate, di trattamento termico (sia in atmosfera che in vuoto) e termochimico (reattori), di cottura e di sinterizzazione.

Impianti di formatura: colata, pressocolata, iniezione, stampaggio, laminazione, pressatura di polveri, pressatura isostatica a caldo ed a freddo. Impianti per il trattamento dei materiali in atmosfera controllata, per la rifusione a zona, per la spruzzatura. Trattamento degli effluenti liquidi e gassosi. Inquinamento acustico. La strumentazione negli impianti.

Criteri di progettazione degli impianti industriali, conformità degli impianti alla legislazione vigente (antifortunistica, antinquinamento, igiene del lavoro...).

Fabbricati industriali, impianti generali di distribuzione dei servomezzi: acqua, aria compressa ed energia.

Il *layout* degli impianti. Logistica industriale: rete logistica e gestione di un sistema logistico. Tempistica ed intercorrelazione delle unità operative. Produttività e redditività degli investimenti impiantistici. disegno tecnico; interpretazione di un disegno.

Controllo qualità del processo. Tecniche e politiche di manutenzione preventiva.

### ESERCITAZIONI

Svolgimento di problemi applicativi degli argomenti sviluppati a lezione. Progettazione di impianti per trattamenti termici e termochimici. Le esercitazioni saranno completate da visite di istruzione a impianti funzionanti di industrie operanti in diversi settori produttivi.

### BIBLIOGRAFIA

Dispense fornite dal docente ed indicazione di bibliografia specifica durante il corso.

## **E 3265 Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica**

(Corso integrato)

Anno: periodo 5:1 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 con particolare riguardo 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.

Nozioni propedeutiche: Scienza delle costruzioni, Materiali metallici.

### 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 (KIC, GIC, JIC). 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*, John Wiley & Sons, New York

G. E. Dieter, *Mechanical metallurgy*, McGraw Hill Kogakusha, Tokio

D. Broek, *The practical use of fracture mechanics*, Kluwer, Dordrecht

## 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. Trasmittanza 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 recupero 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 Kompass, 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-Fröhlich; 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, Wissemann, *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 atmosferica.

Corrosione a secco.

### **ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni riguardano la discussione, anche utilizzando 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.* 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. 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.

## E 4370 Proprietà termofisiche dei materiali

Anno: periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 50 laboratori 40

Prof. Giuseppe Ruscica (Energetica)

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 3870 Optoelettronica

Anno:periodo 5:2

Prof. Ivo Montrosset (Elettronica)

### 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.

Assorbimento 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; calibrazioni 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 e laboratori 15 (settimanali 5/1)

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

Il corso si propone di fornire un quadro generale sui principali processi industriali di produzione di polimeri sintetici. Vengono forniti i concetti di base della chimica macromolecolare e la loro applicazione nello sviluppo dei processi per la produzione di materia plastiche, elastomeri e materiali termoindurenti. Sono inoltre prese in considerazione le proprietà fondamentali e le caratteristiche di impiego dei materiali macromolecolari. Il corso si svolge mediante lezioni, laboratori e visite a complessi industriali.

### REQUISITI.

*Chimica organica. Tecnologia dei materiali e chimica applicata. Termodinamica dell'ingegneria chimica. Chimica Industriale.*

### PROGRAMMA.

Generalità sulle macromolecole: classificazione, strutture, proprietà, settori applicativi. Pesì molecolari medi dalle proprietà di soluzioni polimeriche. Curve di distribuzione dei pesì molecolari.

Polimeri da polimerizzazione a stadi. Monomeri, catalizzatori, variabili di processo e grado di polimerizzazione, distribuzione dei pesì molecolari. Produzione industriale di poliammidi e poliesteri.

Polimeri da poliaddizione radicalica. Monomeri, iniziatori, modelli di reazione, cinetica, controllo del peso molecolare. Modalità di processi industriali in massa, in soluzione, in sospensione e in emulsione.

Polimeri da poliaddizione ionica. Iniziatori ionici. Caratteristiche dei processi a propagazione cationica e anionica. Polimerizzazione stereospecifica.

Processi per la produzione di polietilene a alta e bassa densità, polipropilene, polistirene, polivinil cloruro.

Copolimerizzazione. Equazioni di copolimerizzazione, rapporti di reattività e loro valutazione.

Copolimeri di interesse industriale.

Processi per la produzione di materiali elastomerici: monomeri, polimerizzazione, vulcanizzazione.

Proprietà fondamentali termiche e meccaniche dei polimeri industriali.

Produzione e proprietà delle miscele polimeriche.

Resine termoindurenti. Applicazioni, tecnologie di produzione.

Tecnologie di trasformazione dei termoplasti.

Fibre e matrici per materiali compositi.

### Testi consigliati

A.I.M., *Macromolecole: Scienza e Tecnologia*, Vol. 1, Pacini Editore, Pisa, 1992

A. Rudin, *The Element of Polymer Science and Engineering*, Academic Press, N.Y., 1982

## 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)

[Non attivato nell'anno 1994/95]

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, soresel, ...), 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 avanzati dell'elettronica e optoelettronica basati su multieterostrutture 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 multieterostruttura.

*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. Fucatura 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>   |
|-------------|--------------|---|
| 13          | E0231        | Analisi matematica 1 [1:1]  |
| 17          | E0232        | Analisi matematica 2 [2:1]  |
| 21          | E0234        | Analisi matematica 3 (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:2]               |
| 22          | E0514        | Calcolo numerico (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:2]                   |
| 39          | E0530        | Campi elettromagnetici [5:1,2]  |
| 14          | E0620        | Chimica [1:1]   |
| 40          | E0770        | Componenti e circuiti ottici [5:1]                                      |
| 56          | E0910        | Corrosione e protezione dei materiali metallici [5:2]                   |
| 57          | E0940        | Costruzione di macchine [5:2]   |
| 41          | E1430        | Disegno tecnico industriale [5:0]                                       |
| 28          | E1441        | Dispositivi elettronici 1 [3:2]   |
| 58          | E1442        | Dispositivi elettronici 2 [5:2]   |
| 32          | E1530        | Economia ed organizzazione aziendale [4:1]                              |
| 23          | E1660        | Elementi di meccanica teorica e applicata [2:2]                         |
| 59          | E1700        | Elettrometallurgia [5:2]  |
| 25          | E1710        | Elettronica applicata [3:1]   |
| 42          | E1750        | Elettronica dello stato solido [5:1]                                    |
| 18          | E1790        | Elettrotecnica [2:1]  |
| 16          | E1901        | Fisica 1 [1:2]  |
| 19          | E1902        | Fisica 2 [2:1]  |
| 43          | E1994        | Fisica delle superfici (corso ridotto, 1/2 annualità) [5:1]             |
| 29          | E2060        | Fisica tecnica [3:2]  |
| 15          | E2170        | Fondamenti di informatica [1:2]   |
| 15          | E2300        | Geometria [1:2]   |
| 44          | E2600        | Impianti chimici [5:1]  |
| 45          | E2730        | Impianti meccanici [5:1]  |
| 46          | E2740        | Impianti metallurgici [5:1]   |
| 33          | E3110        | Macchine [4:1]  |
| 37          | E3180        | Materiali metallici [4:2]   |
| 47          | E3265        | Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (corso integrato) [5:2] |

- 36 E3670 Misure elettroniche [4:2]  
60 E3870 Optoelettronica [5:2]  
48 E3880 Ottica [5:1]  
61 E3950 Plasticità e lavorazioni per deformazione plastica [5:2]  
62 E4050 Processi di produzione di materiali macromolecolari [5:2]  
59 E4370 Proprietà termofisiche dei materiali [5:2]  
26 E4590 Scienza dei materiali [3:1]  
27 E4600 Scienza delle costruzioni [3:1]  
34 E4630 Scienza e tecnologia dei materiali ceramici [4:1]  
38 E4640 Scienza e tecnologia dei materiali compositi [4:2]  
49 E4660 Scienza e tecnologia dei materiali elettrici [5:1]  
30 E4680 Scienza e tecnologia dei materiali polimerici [3:2]  
50 E4700 Sensori e trasduttori [5:1]  
51 E4780 Siderurgia [5:1]  
24 E5340 Struttura della materia [2:2]  
52 E5404 Superconduttività (corso ridotto, 1/2 annualità) [5:1]  
63 E5570 Tecnologia dei materiali e chimica applicata [5:2]  
53 E5640 Tecnologia meccanica [5:1]  
54 E5691 Tecnologie e materiali per l'elettronica 1 [5:1]  
64 E5692 Tecnologie e materiali per l'elettronica 2 [5:2]  
65 E5710 Tecnologie metallurgiche [5:2]

## Indice alfabetico dei docenti

| <i>pag. Docente</i>                                    | <i>corso</i>    | <i>[anno:periodo]</i>   |
|--|-----------------|---|
| 27 Algostino, Franco (Ing. strutturale)                | E4600           | Scienza delle costruzioni [3:1]                                 |
| 34 Amato, Ignazio (Chimica)                            | E4630           | Scienza e tecnologia dei materiali ceramici [4:2]               |
| 33 Andriano, Matteo (Energetica)                       | E3110           | Macchine [4:1]  |
| 63 Appendino, Pietro (Chimica)                         | E5570           | Tecnologia dei materiali e chimica applicata [5:2]              |
| 36 Arri, Ernesto                                       | E3670           | Misure elettroniche [4:2]                                       |
| 44 Baldi, Giancarlo (Chimica)                          | E2600           | Impianti chimici [5:1]  |
| 54 Bava, Gian Paolo (Elettronica)                      | E5691           | Tecnologie e materiali per l'elettronica 1 [5:1]                |
| 51 Burdese, Aurelio (Chimica)                          | E4780           | Siderurgia [5:1]  |
| 29 Calì, Michele (Energetica)                          | E2060           | Fisica tecnica [3:2]  |
| 18 Daniele, Vito (Elettronica)                         | E1790           | Elettrotecnica [2:1]  |
| 37 De Benedetti, Bruno (Chimica)                       | E3180           | Materiali Metallici [4:2]                                       |
| 59 =   | E1700           | Elettrometallurgia [5:2]  |
| 50 =   | E4700           | Sensori e trasduttori [5:1]                                     |
| 13 De Stefano Viti, Stefania<br>(Matematica)           | E0231           | Analisi matematica 1 [1:1]                                      |
| 47 Firrao, Donato (Chimica)                            | E3265           | Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica<br>(int.) [5:2] |
| 15 Gai, Silvano (Autom. inform.)                       | E2170           | Fondamenti di informatica [1:2]                                 |
| 26 Gianoglio, Carlo (Chimica)                          | E4590           | Scienza dei materiali [3:1]                                     |
| 65 Gozzelino, Giuseppe (Chimica)                       | E4050           | Processi di produzione di materiali<br>macromolecolari [5:2]    |
| 56 Maja, Mario (Chimica)                               | E0910[<br>0920] | Corrosione e protezione dei materiali metallici<br>[5:2]        |
| 49 Mazza, Daniele (Chimica)                            | E4660           | Scienza e tecnologia dei materiali elettrici [5:1]              |
| 24 Mazzetti, Piero (Fisica)                            | E5340           | Struttura della materia [2:2]                                   |
| 48 Miraldi, Elio (Fisica)                              | E3880           | Ottica [5:1]  |
| 22 Monegato, Giovanni (Matematica)                     | E0514           | Calcolo numerico [2:2]  |
| 45 Monte, Armando (Idraul., trasp.,<br>infrastr. civ.) | E2730           | Impianti meccanici [5:1]  |
| 60 Montrosset, Ivo (Elettronica)                       | E3870           | Optoelettronica [5:2]   |
| 28 Naldi, Carlo (Elettronica)                          | E1441           | Dispositivi elettronici 1 [3:2]                                 |
| 58 =   | E1442           | Dispositivi elettronici 2 [5:2]                                 |

|    |                                       |       |  |
|----|---------------------------------------|-------|--|
| 19 | Omini, Marco (Fisica)                 | E1902 | Fisica 2 [2:1]   |
| 39 | Orta, Renato (Elettronica)            | E0530 | Campi elettromagnetici [5:1,2]                               |
| 40 | =                                     | E0770 | Componenti e circuiti ottici [5:1]                           |
| 61 | Perotti, Giovanni (Sist. produzione)  | E3950 | Plasticità e lavorazioni per deformazione plastica [5:2]     |
| 30 | Priola, Aldo (Chimica)                | E4680 | Scienza e tecnologia dei materiali polimerici [3:2]          |
| 32 | Prosperetti, Luigi (Sist. produzione) | E1530 | Economia ed organizzazione aziendale [4:1]                   |
| 52 | Rasetti, Mario (Fisica)               | E5404 | Superconduttività (1/2) [5:1]                                |
| 17 | Ricci, Fulvio (Matematica)            | E0232 | Analisi matematica 2 [2:1]                                   |
| 47 | Rossetto, Massimo (Meccanica)         | E3265 | Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (int.) [5:2] |
| 46 | Rosso, Mario (Chimica)                | E2740 | Impianti metallurgici [5:1]                                  |
| 65 | =                                     | E5710 | Tecnologie metallurgiche [5:2]                               |
| 59 | Ruscica, Giuseppe (Energetica)        | E4370 | Proprietà termofisiche dei materiali [5:2]                   |
| 23 | Sorli, Massimo (Meccanica)            | E1660 | Elementi di meccanica teorica e applicata [2:2]              |
| 16 | Stepanescu, Aurelia (Fisica)          | E1901 | Fisica 2 [1:2]   |
| 15 | Tedeschi, Giulio (Matematica)         | E2300 | Geometria [1:2]  |
| 21 | Teppati, Giancarlo (Matematica)       | E0234 | Analisi matematica 3 (1/2) [2:2]                             |
| 25 | Zamboni, Maurizio (Elettronica)       | E1710 | Elettronica applicata [5:1]                                  |
| 39 | Zich, Rodolfo (Elettronica)           | E0530 | Campi elettromagnetici [5:1,2]                               |