

**Guide ai programmi  
dei corsi 1995/96**

**POLITECNICO DI TORINO**



**Ingegneria dei materiali**

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

## I Facoltà di ingegneria

*Preside:* prof. Pietro Appendino

### *Corso di laurea*

Ingegneria aeronautica  
Ingegneria per l'ambiente e il territorio  
Ingegneria chimica  
*Settore civile/edile:*  
    Ingegneria civile  
    Ingegneria edile  
Ingegneria elettrica  
Ingegneria gestionale  
*Settore dell'informazione:*  
    Ingegneria delle telecomunicazioni  
    Ingegneria elettronica  
    Ingegneria informatica  
Ingegneria dei materiali  
Ingegneria meccanica  
Ingegneria nucleare

### *Presidente*

*(coordinatore)*

Prof. Gianfranco Chiocchia  
Prof. Antonio Di Molfetta  
Prof. Vito Specchia  
Prof. Giovanni Barla  
    Prof. Giovanni Barla  
    Prof. Secondino Coppo  
Prof. Roberto Napoli  
Prof. Agostino Villa  
Prof. Paolo Prinetto  
    Prof. Mario Pent  
    Prof. Carlo Naldi  
    Prof. Paolo Prinetto  
Prof. Carlo Gianoglio  
Prof. Rosolino Ippolito  
Prof. Evasio Lavagno

## II Facoltà di ingegneria (sede di Vercelli)

*Preside:* prof. Antonio Gugliotta

### *Corso di laurea*

Ingegneria civile  
Ingegneria elettronica  
Ingegneria meccanica

### *Coordinatore*

Prof. Riccardo Nelva  
Prof. Luigi Ciminiera  
Prof. Maurizio Orlando

**L'edizione 1995/96 delle *Guide ai programmi*.** Per esplicita richiesta del *Comitato paritetico per la didattica*, questa edizione si basa su una pressoché completa riscrittura dei testi da parte dei docenti, nell'intento di dare maggiori dettagli sui contenuti e lo svolgimento dei singoli insegnamenti. L'insieme delle *Guide* assomma ora ad oltre 2000 pagine, costituendo una ricca fonte d'informazione sull'offerta didattica; nonostante la massima cura posta nell'edizione, inevitabili sono sviste ed errori residui, ed il CIDEM è fin d'ora grato a docenti e studenti che vorranno segnalarli.

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 - e-mail cid@polito.it

Stampato nel mese di gennaio 1996

Litografia Geda - Via Villa Glori 6 - Torino

## Indice

- 5 Presentazione
- Programmi degli insegnamenti
- 13 obbligatori
- 57 d'orientamento
- 89 Tavola alfabetica dei docenti
- 93 Tavola alfabetica degli insegnamenti

**Le Guide ai programmi dei 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 1995/96 sono attivati a Torino tredici *corsi di laurea* (elenco alla pagina a fronte). 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 40–60 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.

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

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

<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.

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 del Servizio 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 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").

**L'edizione 1995/96 delle *Guide ai programmi*.** Per esplicita richiesta del *Comitato paritetico per la didattica*, questa edizione si basa su una pressoché completa riscrittura dei testi da parte dei docenti, nell'intento di dare maggiori dettagli sui contenuti e lo svolgimento dei singoli insegnamenti. L'insieme delle *Guide* assomma ora ad oltre 2000 pagine, costituendo una ricca fonte d'informazione sull'offerta didattica; nonostante la massima cura posta nell'edizione, inevitabili sono sviste ed errori residui, ed il CIDEM è fin d'ora grato a docenti e studenti che vorranno segnalarli.

Corso di laurea in

# Ingegneria dei materiali

## 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 utilizzatori 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 esi-

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

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

Per quanto concerne l'ambito dell'industria chimica ogni innovazione di processo richiede per gli impianti la disponibilità di materiali adeguati, in grado spesso di lavorare con grande affidabilità in condizioni estreme per quanto concerne la temperatura, la

pressione, l'aggressività dei sistemi da elaborare. La scelta dei materiali è in questo caso particolarmente basata sulla conoscenza dei fenomeni chimico-fisici che regolano e condizionano i processi tecnologici e la disponibilità di laureati che accomunino conoscenze ingegneristiche e quelle sui materiali risulta altamente appetibile dalle numerose industrie del settore attive sul territorio.

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

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

### **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 di *Impianti metallurgici*.

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

## Orientamenti

Tra i rimanenti corsi necessari a completare il *curriculum*, quattro almeno sono obbligati dall'orientamento prescelto. Gli orientamenti sono:

- *Materiali metallici e metallurgia*
- *Materiali ceramici e polimerici*
- *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 nell'ambito delle discipline elencate nel seguito. Alla tavola dei corsi comuni seguono le tavole che elencano le scelte possibili all'interno degli orientamenti.

## Quadro riassuntivo dei corsi comuni ai diversi orientamenti

---

1:1	(1. anno, 1. periodo didattico)
	E0231 : Analisi matematica 1
	E0620 : Chimica
<hr/>	
1:2	E2300 : Geometria
	E1901 : Fisica 1
	E2170 : Fondamenti di informatica
<hr/>	
2:1	E0232 : Analisi matematica 2
	E1902 : Fisica 2
	E1790 : Elettrotecnica
<hr/>	
2:2	E5340 : Struttura della materia
	E0234 : Analisi matematica 3 (ridotto)
	E0514 : Calcolo numerico (ridotto)
	E1660 : Elementi di meccanica teorica e applicata
<hr/>	
3:1	E4600 : Scienza delle costruzioni
	E4590 : Scienza dei materiali
	E1710 : Elettronica applicata
<hr/>	
3:2	E4680 : Scienza e tecnologia dei materiali polimerici
	E2060 : Fisica tecnica
	E1441 : Dispositivi elettronici 1
<hr/>	
4:1	E4630 : Scienza e tecnologia dei materiali ceramici
	E3110 : Macchine
	E1530 : Economia ed organizzazione aziendale
<hr/>	
4:2	E3180 : Materiali metallici
	E3670 : Misure elettroniche
	Y.1 <i>Insegnamento di orientamento</i>
<hr/>	
5:1	E2740 : Impianti metallurgici
	Y.2 <i>Insegnamento di orientamento</i>
	Y.4 <i>Insegnamento di orientamento</i>
	Y.5 <i>Insegnamento di orientamento</i>
<hr/>	
5:2	E0940 : Costruzione di macchine
	Y.3 <i>Insegnamento di orientamento</i>
	Y.4 <i>Insegnamento di orientamento</i>
	Y.5 <i>Insegnamento di orientamento</i>

---

## Orientamento **Materiali metallici e metallurgia**

---

4:2 E4640 : Scienza e tecnologia dei materiali compositi

---

5:1 E4780 : Siderurgia

---

5:2 E0910 : Corrosione e protezione dei materiali metallici  
E5710 : Tecnologie metallurgiche

---

### *Un insegnamento a scelta tra:*

---

5:1 E3265 : Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (integrato)  
E5640 : Tecnologia meccanica

---

5:2 E1700 : Elettrometallurgia  
E3950 : Plasticità e lavorazione per deformazione plastica  
E5570 : Tecnologia dei materiali e chimica applicata  
E1920 : Fisica degli stati condensati  
E4370 : Proprietà termofisiche dei materiali  
E5341 : Struttura della materia (sperimentale)

---

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

---

4:2 E4640 : Scienza e tecnologia dei materiali compositi

---

5:1 E1750 : Elettronica dello stato solido *oppure*  
E5691 : Tecnologie e materiali per l'elettronica 1

---

5:2 E5404 : Superconduttività (ridotto) (con E1994)  
E1994 : Fisica delle superfici (ridotto) (con E5404)  
E5692 : Tecnologie e materiali per l'elettronica 2

---

### *Un insegnamento a scelta tra:*

---

5:1 E0770 : Componenti e circuiti ottici  
E4700 : Sensori e trasduttori

---

5:2 E1442 : Dispositivi elettronici 2  
E1920 : Fisica degli stati condensati  
E3880 : Ottica  
E4370 : Proprietà termofisiche dei materiali  
E5341 : Struttura della materia (sperimentale)

---

**Orientamento Materiali ceramici, polimerici e compositi**

---

4.2 E 4640 : Scienza e tecnologia dei materiali compositi

---

5.1 E 5640 : Tecnologia meccanica

---

5.2 E 1994 : Superconduttività (ridotto) (con E1994)

E 5404 : Fisica delle superfici (ridotto) (con E5404)

E 4050 : Processi di produzione dei materiali macromolecolari

---

*Un insegnamento a scelta tra:*

---

5.1 E 4660 : Scienza e tecnologia dei materiali elettrici

---

5.2 E 3950 : Plasticità e lavorazione per deformazione plastica

E 5570 : Tecnologia dei materiali e chimica applicata

E 1920 : Fisica degli stati condensati

E 4080 : Processi industriali della chimica fine

E 4370 : Proprietà termofisiche dei materiali

E 5341 : Struttura della materia (sperimentale)

---

# Programmi degli insegnamenti

(insegnamenti comuni)

*I programmi sono riportati nello stesso ordine (anno e periodo didattico) in cui compaiono nel quadro generale. A questa sezione seguono i programmi dei corsi d'orientamento (p. 57). Al termine del volume (p. 89) le tavole alfabetiche generali, per nomi dei docenti e per titoli degli insegnamenti.*

## E0231      **Analisi matematica 1**

Anno: periodo 1:1    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 72+48 (nell'intero periodo)  
Docente: Luisella Caire

Il corso si propone di introdurre innanzitutto al linguaggio e al ragionamento matematico, fornendo, insieme alle basi dell'analisi delle funzioni reali di variabile reale (teoremi sulle funzioni continue e calcolo differenziale e integrale) una metodologia di lavoro che, partendo da una comprensione critica degli strumenti acquisiti, conduca, (attraverso riferimenti a problemi della fisica e dell'ingegneria) alla loro applicazione alle successive discipline tecnologiche.

**REQUISITI.** Sono richiesti i concetti fondamentali di algebra, di geometria elementare, di trigonometria e di calcolo dei logaritmi della scuola secondaria superiore.

### PROGRAMMA

1. Introduzione al linguaggio matematico. Inquadramento insiemistico di relazioni e funzioni. Numeri cardinali. Principio di induzione. Concetti di calcolo combinatorio. Insiemi numerici, in particolare numeri reali. Proprietà qualitative delle funzioni reali di variabile reale. [12 ore]
2. Continuità in un punto e teoremi sulle funzioni continue; limiti e teoremi sui limiti; limiti di funzioni monotone. Confronto tra funzioni; infiniti e infinitesimi. Asintoti rettilinei. [16 ore]
3. Successioni; Teorema di Bolzano-Weierstrass; funzione esponenziale. [6 ore]
4. Proprietà globali delle funzioni continue: teorema degli zeri e applicazioni; continuità della funzione inversa. Teorema di Weierstrass; continuità uniforme. [6 ore]
5. Derivata e differenziale; regole di derivazione; applicazioni allo studio della monotonìa e degli estremi. [6 ore]
6. Teoremi di Rolle e Lagrange, con applicazioni. Polinomi di Taylor: teoremi sul resto e applicazioni. Calcolo di polinomi di Taylor. Applicazione allo studio della convessità in un punto e dei flessi. Concetti sulla convessità su un intervallo. [12 ore]
7. Primitive (integrale indefinito) per funzioni continue a tratti. Regole di integrazione. [6 ore]
8. Integrale definito (di Riemann); classi di funzioni integrabili; media integrale; proprietà algebriche e disequazioni relative all'integrale definito. Funzione integrale: proprietà e teorema fondamentale del calcolo integrale. [6 ore]

9. Integrali impropri e criteri di convergenza. [6 ore]

10. Equazioni differenziali a variabili separabili, equazioni differenziali lineari del primo e secondo ordine. [4 ore]

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni seguiranno gli argomenti delle lezioni e potranno essere di due tipi: o svolte alla lavagna dal personale docente, o svolte ai rispettivi tavoli dagli allievi.

### BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

A. Bacciotti, F. Ricci, *Analisi matematica 1*, Liguori (primo e secondo corso).

C.D. Pagani, S. Salsa, *Analisi matematica. Vol. 1*, Masson (terzo corso).

Testi ausiliari:

P. Boieri, G. Chiti, *Precorso di matematica*, Zanichelli.

A. Tabacco, D. Giublesi, *Temi svolti di Analisi matematica 1*, Levrotto & Bella.

### ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed una prova orale. Il superamento della prova scritta è condizione necessaria per accedere alla prova orale. Per sostenere la prova scritta, gli studenti devono prenotarsi presso la segreteria didattica del Dipartimento. Maggiori dettagli sulle modalità di svolgimento delle prove saranno forniti all'inizio del corso.

## E0620 Chimica

Anno/periodo 1:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 78+26 (nell'intero periodo)

Docente: Aldo Priola

In questo corso ci si propone di illustrare le leggi fondamentali della chimica e di stabilire una stretta relazione tra queste e gli aspetti principali della chimica generale e applicata. A tale proposito nella parte finale del corso saranno presentati alcuni processi industriali che verranno discussi in modo critico in relazione ai principi fondamentali della chimica. Si ritiene inoltre indispensabile presentare alcuni aspetti della chimica organica. Nel corso delle esercitazioni saranno utilizzati i principi teorici per risolvere alcuni semplici problemi.

### PROGRAMMA

*La struttura dell'atomo e le leggi fondamentali della chimica.* [12 ore]

Le leggi fondamentali della chimica. La struttura dell'atomo. Comportamento chimico degli elementi, tavola periodica, valenza e legami chimici, significato quantitativo di formule e reazioni.

*Lo stato gassoso.* [6 ore]

Leggi fondamentali dei gas ideali e reali. Vengono confrontati due approcci differenti allo studio del comportamento della materia: quello sperimentale e quello teorico (teoria cinetica dei gas).

*Lo stato liquido e le soluzioni.* [6 ore]

Proprietà dei liquidi e delle soluzioni. Modi di esprimere la concentrazione delle solu-

zioni. Proprietà colligative: pressione osmotica, conducibilità elettrica, ebullioscopia e crioscopia.

*Stato solido.* [6 ore]

I reticoli cristallini di Bravais. Il legame chimico nei solidi e le loro proprietà. Principali difetti reticolari. Diffrazione di raggi X. Diagrammi di stato e regola delle fasi.

*Termochimica.* [7 ore]

Primo e secondo principio della termodinamica. Tonalità termica delle reazioni chimiche e grandezze termodinamiche (entalpia, energia interna, lavoro). Entropia, energia libera e spontaneità delle trasformazioni chimiche e fisiche. Legge di Hess.

*Cinetica.* [5 ore]

Fattori che influenzano la velocità di reazione. Equazioni cinetiche per reazioni del primo e del secondo ordine. Energia di attivazione. Vengono confrontati aspetti cinetici e termodinamici nei processi chimici.

*Equilibrio chimico.* [8 ore]

Legge di azione di massa dedotta da considerazioni cinetiche. Principio di Le Châtelier. Equilibri in fase omogenea e eterogenea. Equilibri in soluzione: dissociazione di acidi e basi (pH), idrolisi, soluzioni tampone.

*Elettrochimica.* [7 ore]

I potenziali *standard* di riduzione e l'equazione di Nernst. Spontaneità delle reazioni di ossido-riduzione. Pile e celle elettrolitiche.

*Chimica organica.* [10 ore]

Idrocarburi saturi, insaturi e aromatici. Gruppi funzionali. Nomenclatura, struttura e reazioni chimiche dei composti organici. Reazioni di polimerizzazione.

*Chimica descrittiva.* [10 ore]

In questa parte del corso sono esaminate le caratteristiche comuni agli elementi di ciascun gruppo della tavola periodica. Alcuni elementi (H, O, Na, Al, C, N, S, Cl, Fe) sono trattati in modo più dettagliato, con riferimento ad alcuni processi industriali di preparazione.

## ESERCITAZIONI

Per ciascuno degli argomenti elencati nel *Programma delle lezioni* sono presentati semplici problemi. Le esercitazioni intendono costituire per gli allievi un momento di revisione critica del processo di apprendimento.

## BIBLIOGRAFIA

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

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

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

Materiale integrativo dattiloscritto darà reso disponibile durante il corso.

## ESAME

L'esame si articola in due prove: una prova scritta (A) ed una prova orale (B). La prova A consiste nel rispondere a trenta *quiz* del tipo multiscelta, alcuni dei quali richiedono l'esecuzione di calcoli. La sufficienza conseguita nella prova A consente di accedere alla prova B. La prova orale è completamento di quella scritta e quindi prende le mosse dalle risposte fornite dall'esaminando in quest'ultima. Il superamento dell'esame comporta l'esito positivo di ciascuna delle due prove.

## E2300 Geometria

Anno: periodo 1:2

Docente: *da nominare*

Il corso si propone di fornire agli studenti una preparazione di base per lo studio di problemi geometrici nel piano e nello spazio con l'uso di coordinate e di problemi di algebra lineare con l'uso del calcolo matriciale.

**REQUISITI.** Elementi di geometria euclidea e di trigonometria; proprietà dei numeri reali, operazioni di derivazione e di integrazione.

### PROGRAMMA

1. Vettori del piano e dello spazio. Vettori applicati e liberi, operazioni, componenti. [5 ore]
2. Numeri complessi ed equazioni algebriche. Definizione di numero complesso, operazioni, rappresentazione. Principio di identità dei polinomi. Teorema fondamentale dell'algebra. [5 ore]
3. Spazi vettoriali. Proprietà elementari, sottospazi, dipendenza lineare, basi. Spazi di matrici, calcolo matriciale. [10 ore]
4. Sistemi lineari e determinanti. Compatibilità e metodi di risoluzione di un sistema. Sistemi ad incognite vettoriali e matrice inversa. Definizione e proprietà dei determinanti. Proprietà delle matrici e determinanti. [7 ore]
5. Applicazioni lineari. Definizione e proprietà. Applicazioni lineari e matrici. Cambiamenti di base e matrici simili. Autovalori ed autovettori; polinomio caratteristico, diagonalizzazione di una matrice, cenni sulla forma canonica di Jordan. Cenni su equazioni e sistemi differenziali lineari di ordine  $n$ . [14 ore]
6. Spazi vettoriali con prodotto scalare. Spazi euclidei reali. Ortogonalità e basi ortonormali. Matrici ortogonali. Matrici simmetriche. Forme quadratiche. [4 ore]
7. Geometria analitica del piano. Coordinate cartesiane e polari. La retta: rappresentazioni cartesiana e parametrica, parallelismo, angoli, fasci di rette. Distanze. Circonferenza: rappresentazioni, fasci di circonferenze. Coniche: forma generale e canonica, classificazione; tangente ad una conica in un suo punto. Cenni sulla polarità. [9 ore]
8. Geometria analitica dello spazio. Coordinate cartesiane, cilindriche, polari. Rette e piani: rappresentazioni, parallelismo, angoli, perpendicolarità; complanarità di due rette. Distanze. Superfici sferiche e circonferenze. Coni, cilindri, superfici di rotazione. Quadriche: equazioni canoniche e classificazione; piano tangente. [14 ore]
9. Geometria differenziale delle curve. Curve regolari e biregolari. Triedro fondamentale. Ascissa curvilinea. Curvatura e torsione. Cerchio osculatore. Formule di Frenet. [6 ore]

### ESERCITAZIONI

1. Operazioni tra vettori. [3 ore]
2. Esercizi su numeri complessi ed equazioni algebriche. [3 ore]
3. Esempi di spazi e sottospazi vettoriali. Esercizi sulla dipendenza lineare. Determinazione di generatori e di basi. Operazioni tra matrici. [6 ore]

4. Risoluzione e discussione sulla compatibilità di sistemi lineari. Calcolo dell'inversa di una matrice. [4 ore]
5. Applicazioni lineari e matrici associate. Cambiamenti di base. Calcolo di autovalori e determinazione di autospazi. Esempi di diagonalizzazione e di forma canonica di Jordan per una matrice quadrata. [8 ore]
6. Basi ortonormali. Matrici simmetriche e forma canonica di una forma quadratica. [2 ore]
7. Rette, circonferenze e coniche del piano. [6 ore]
8. Curve e superfici dello spazio: rette, piani, circonferenze, sfere, quadriche, coni, cilindri, superfici di rotazione. [10 ore]
9. Proprietà differenziali di una curva: tangente, piano osculatore, cerchio osculatore, curvatura, torsione. Studio dell'elica circolare. [4 ore]

## BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

S. Greco, P. Valabrega, *Lezioni di algebra lineare e geometria. Vol. I-II*, Levrotto e Bella, Torino, 1994.

Testi ausiliari:

S. Greco, P. Valabrega, *Esercizi risolti di algebra lineare, geometria analitica differenziale*, Levrotto e Bella, Torino, 1994.

G. Beccari, N. Catellani, D. Ferraris, D. Giublesi, L. Mascarello, *Esercizi di algebra lineare e geometria analitica*, CELID, Torino, 1983.

E. Sernesi, *Geometria I*, Bollati Boringhieri, Torino, 1990.

A. Sanini, *Lezioni di geometria*, Levrotto e Bella, Torino 1994.

## ESAME

L'esame si svolge in due prove, una scritta e una orale. Per lo scritto sono previste due modalità.

a) Due prove durante il semestre, la prima in forma di test, della durata di un'ora, riguardante l'algebra lineare; la seconda, della durata di un'ora e mezza, composta da esercizi di geometria analitica piana e spaziale. Durante le prove non è consentita la consultazione di testi.

b) Una prova della durata di due ore, in uno degli appelli previsti dal calendario, composta da esercizi sugli argomenti del Corso, nella quale è consentito consultare testi. Il superamento delle due prove di tipo a) con voto medio non inferiore a 15/30 consente allo studente di sostenere la prova orale nel periodo compreso tra giugno e ottobre, mentre lo studente che superi la prova di tipo b) con voto non inferiore a 15/30 deve sostenere la prova orale nello stesso appello.

## E 1901      **Fisica 1**

Anno: periodo I:2    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Elio Miraldi (collab.: Giorgio Kaniadakis)

Il corso si propone di fornire allo studente le nozioni fondamentali necessarie alla comprensione di alcuni aspetti della fisica classica e della meccanica relativistica. In particolare il corso inizia dalla definizione delle unità di misura del Sistema Internazionale, fa uso delle equazioni dimensionali e introduce grandezze scalari e vettoriali, servendosi degli strumenti matematici dell'analisi differenziale e della geometria analitica.

Rispetto ai programmi tradizionali delle altre università italiane, il Politecnico di Torino ha deciso di posporre al corso di *Fisica 2* la termodinamica, e di porre al primo anno i fondamenti dell'elettrostatica nel vuoto e dell'ottica geometrica. Questo permette di

trattare i campi di velocità e i campi di forza statici con lo stesso formalismo e di introdurre lo studente all'uso degli operatori vettoriali.

### REQUISITI

Il corso fa uso dell'analisi infinitesimale, in particolare degli operatori di derivazione totale e parziale e degli integrali, anche di linea e di superficie. È necessario quindi che lo studente abbia seguito il corso di *Analisi I* e possenga un minimo di dimestichezza con l'algebra e la trigonometria.

### PROGRAMMA

*Unità di misura ed equazioni dimensionali.* Il corso inizia con la definizione delle unità fondamentali di misura nel Sistema Internazionale, mettendone in luce i legami con gli aspetti e i problemi più attuali della fisica e della tecnologia. Si introducono le equazioni dimensionali, facendone cogliere l'utilità con alcuni esempi. Si introducono le esperienze di laboratorio che gli studenti potranno eseguire personalmente, facendo particolare riguardo, in questa fase introduttiva, all'analisi dei dati sperimentali, discutendo il metodo dei minimi quadrati e il metodo di interpolazione lineare.

*Cinematica del punto.* In questa parte del corso si cerca di richiamare nozioni già note allo studente, come velocità e accelerazione media ed istantanea in un sistema di riferimento inerziale, fondandole sulle proprietà geometriche delle curve nello spazio. In particolare si pongono le basi della relatività galileiana e della relatività ristretta studiando il moto di un punto in due sistemi di riferimento in moto relativo, anche roto-traslatorio, discutendo in dettaglio le varie componenti dell'accelerazione dovute proprio al sistema di riferimento non inerziale.

*Dinamica del punto materiale.* Viene richiamata la grandezza massa di un punto materiale e si introduce la forza come causa dell'accelerazione del corpo, si introducono cioè i tre principi della dinamica newtoniana. Accanto ai *Gedankenexperimenten* necessari allo scopo viene introdotta la legge di Hook, cioè il dinamometro, per la misura statica delle forze. Si dà risalto all'equivalenza tra la massa inerziale e quella gravitazionale e si sottolinea la covarianza delle leggi della dinamica in sistemi di riferimento inerziali contro l'insorgenza di forze d'inerzia o forze fittizie in quelli non inerziali. Vengono descritte le leggi empiriche dell'attrito nei suoi vari aspetti: viscoso, radente tra superfici a contatto, volvente. Una serie di esempi viene usata per descrivere il moto di un punto in presenza delle forze d'attrito, con particolare riguardo alla velocità limite e allo spazio di frenata. Vengono inoltre studiate le diverse traiettorie di un punto materiale viste in un sistema di riferimento inerziale o non inerziale.

*Lavoro di una forza.* Viene introdotto il campo di forze e definita la grandezza lavoro, cercando con esempi di evidenziare il concetto di integrale di linea. Viene dimostrato ed evidenziato il teorema dell'energia cinetica, che, oltre ad introdurre la grandezza fisica energia cinetica di un corpo, permette di approfondire aspetti già noti di dinamica del punto.

*Campi di forza conservativi.* Vengono descritte le proprietà di un campo di forze per il quale l'integrale di linea non dipenda dalla traiettoria ma solo dagli estremi. Si introduce quindi la grandezza energia potenziale e viene dimostrato il teorema di conservazione dell'energia meccanica, ed enunciato e commentato il principio di conservazione dell'energia.

*Oscillazioni unidimensionali.* Come primo esempio di campo di forze conservativo viene studiato il campo elastico del sistema massa-molla e descritte le oscillazioni

unidimensionali partendo dalla conservazione dell'energia meccanica. Vengono studiate inoltre le oscillazioni in presenza di una forza di attrito viscoso e introdotta e valutata la potenza media persa in un periodo, così come le oscillazioni in presenza di una forza esterna sinusoidale forzante. Vengono descritte le oscillazioni forzate, sia a ridosso che lontano dalla frequenza di risonanza. Viene descritto il pendolo semplice sia per le piccole che per le grandi oscillazioni.

*Teoria di relatività ristretta.* Viene introdotta la teoria di relatività ristretta partendo dalla omogeneità e dalla isotropia dello spazio-tempo, cioè si scrivono le formule di cambiamento da un sistema inerziale ad un altro in moto rettilineo uniforme rispetto al precedente imponendo la sola interdipendenza delle coordinate spazio-temporali. Le formule ricavate dipendono da un parametro avente le dimensioni di una velocità con il significato fisico di velocità di trasporto del segnale. Imponendo uguale ad infinito il valore di questo parametro si ottengono le formule di relatività galileiana, mentre se lo si pone uguale alla velocità della luce si ottengono le formule di Einstein.

*Meccanica dei fluidi.* Viene descritto il campo di velocità per il moto stazionario di un fluido ideale e si introducono gli operatori vettoriali gradiente, divergenza e rotore per descrivere il moto e le proprietà del fluido stesso. Con il teorema dell'energia cinetica viene ricavata l'equazione di Bernoulli e ne vengono commentate le principali applicazioni pratiche. Vengono anche ricavate in modo a sé stante e dedotte dall'equazione di Bernoulli le equazioni di Stevino e di Archimede per la statica dei fluidi.

*Dinamica dei sistemi.* Si enunciano le grandezze fisiche necessarie alla descrizione del moto di un sistema di punti materiali, momento di una forza, momento d'inerzia, momento angolare, e se ne ricavano le principali proprietà. Viene dimostrato il teorema di Koenig e sono ricavate le equazioni del moto di un sistema di massa variabile, cioè del razzo e del nastro trasportatore.

*Fenomeni d'urto.* Viene descritta l'interazione tra due corpi detta urto. Si ricava il teorema dell'impulso quantità di moto e si ricava la conservazione di quest'ultima grandezza nell'urto. Si studiano sia gli urti con conservazione dell'energia cinetica che quelli anelastici. L'urto anelastico viene usato per la descrizione delle forze impulsive nel caso di un pendolo balistico.

*Gravitazione universale.* Vengono descritte le equazioni del campo gravitazionale nell'ipotesi newtoniana e ricavata l'espressione dell'energia potenziale e del potenziale gravitazionale. Si effettua l'estensione dal campo di un corpo puntiforme ad uno avente la simmetria sferica, anche facendo uso del teorema di Gauss, e vengono dedotte le tre leggi di Kepler. Vengono fatti numerosi esempi sul moto di satelliti artificiali.

*Elettrostatica nel vuoto.* Viene introdotta la legge di Coulomb e ricavate le equazioni del campo e del potenziale elettrostatico, mettendo in risalto analogie e differenze con il campo gravitazionale. Vengono ricavate le equazioni del campo e del potenziale per un dipolo elettrico. Si usa la legge di Gauss per il calcolo del campo e del potenziale in condizioni di simmetria, come per il calcolo di capacità di condensatori nel vuoto. Si arriva all'espressione dell'energia immagazzinata in un conduttore carico e all'energia di un campo elettrico.

*Onde, ottica geometrica.* Viene ricavata l'equazione di un'onda che si propaga in un mezzo elastico e per il caso armonico vengono enunciate le grandezze caratteristiche. Nel caso dell'onda luminosa si introducono le leggi di Snell che vengono applicate per descrivere la deviazione di un prisma e per ricavare le equazioni dello specchio sferico e della lente sottile nell'approssimazione parassiale.

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vengono svolte il più possibile a ridosso delle lezioni e riguardano l'argomento svolto nelle lezioni stesse. È quindi lo stesso docente che ha svolto uno degli argomenti del corso a svolgere e commentare esercizi durante la lezione e nelle ore di esercitazione della settimana corrispondente.

## LABORATORIO

Il corso prevede la partecipazione dello studente a tre esperienze di laboratorio in un apposito locale del Dipartimento di Fisica, con l'assistenza del collaboratore e di borsisti. Due delle esperienze sono assistite dal *computer*. Nella prima viene effettuata la verifica sperimentale della legge di caduta di un grave, e viene ricavata l'accelerazione di gravità. Nella seconda si misura il periodo di oscillazione di un pendolo semplice sia nel caso delle piccole oscillazioni, in funzione della lunghezza del filo di sospensione, che a parità di lunghezza in funzione dell'ampiezza delle oscillazioni stesse. In queste due esperienze il *computer* misura gli intervalli di tempo con una precisione del decimillesimo di secondo e porge interattivamente allo studente domande sul valore dei parametri necessari all'interpolazione dei dati sperimentali da lui ottenuti. La terza esperienza riguarda la misura dell'indice di rifrazione di una sostanza trasparente foggata a prisma, che viene effettuata in modo indiretto attraverso la misura dell'angolo di deviazione minima e dell'angolo diedro del prisma stesso.

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

R. Resnick, D. Halliday, K.S. Krane, *Fisica 1 e Fisica 2*, ed. ital. a cura di S. Lo Russo, G. Mazzi, L. Taffara, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1993.

D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fondamenti di fisica*, ed. ital. a cura di L. Cicala, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1995.

Testi ausiliari:

C. Mencuccini, V. Silvestrini, *Fisica. Vol. 1 e 2*, Liguori, Napoli, 1987.

A. Tartaglia, *Elettromagnetismo e ottica*, Levrotto & Bella, Torino, 1986.

R. Resnick, *Introduzione alla relatività ristretta*, CEA, Milano, 1969.

C. Kittel [et al.], *La fisica di Berkeley*, Zanichelli, Bologna, 1970.

R.P. Feynmann, R.B. Leighton, M. Sands, *La fisica di Feynmann*, Addison-Wesley, Malta, 1970.

## ESAME

L'esame consta di una prova scritta, consistente nella soluzione di tre esercizi sulla meccanica del punto o dei sistemi, sulla meccanica dei fluidi o sulla gravitazione universale, sull'elettrostatica nel vuoto, e in una prova orale. La prova scritta non costituisce uno sbarramento alla prova orale, che può essere sostenuta qualunque sia il voto riportato allo scritto, bensì uno strumento utile all'allievo per conoscere le proprie effettive capacità e conoscenze in campo fisico. Non sono effettuati sconti sul programma, pre-appelli o post-appelli rispetto alle date affisse in precedenza, né sono ammesse riatezzazioni dell'esame in appelli diversi.

## E2170 Fondamenti di informatica

Anno: periodo 1:2

Docente: *da nominare*

Il corso intende presentare i fondamenti dell'informatica, con lo scopo di chiarirne i principi teorici per permettere una corretta valutazione delle possibilità applicative degli elaborati elettronici. Ci si prefigge inoltre di fare acquisire agli allievi una discreta "manualità" nell'uso degli elaboratori, attraverso l'impiego di strumenti di produttività individuali e di un linguaggio di programmazione. Il corso è propedeutico ai corsi specialistici di informatica; inoltre fornisce le basi per molti corsi di carattere matematico-fisico che richiedono l'uso del calcolatore per le esercitazioni e lo sviluppo di casi di studio.

**REQUISITI.** Non esiste nessuna propedeuticità specifica in termini di esami, ma è utile avere buone basi matematiche ed attitudine al ragionamento.

### PROGRAMMA

#### *Cenni storici* [2 ore]

Evoluzione del calcolo automatico: breve storia dei calcolatori meccanici, elettromeccanici ed elettronici.

#### *Codifica dell'informazione* [10 ore]

Sistemi di numerazione (in particolare il sistema binario); numeri relativi (codifica in modulo e segno ed in complemento a due); numeri frazionari (problemi di approssimazione; codifica *fixed point* e *floating point*; lo *standard* IEEE-754); codifica BCD; operazioni aritmetiche in binario puro ed in complemento a due; errori di *overflow* e di *underflow*; informazioni non numeriche (codici binari, codice ASCII); protezione dell'informazione dagli errori casuali (codici a rivelazione ed a correzione d'errore).

#### *Logica booleana* [4 ore]

Variabili booleane, operatori logici (*and*, *or*, *not*, *exor*), tavola di verità, teoremi booleani, minimizzazione di espressioni logiche.

#### *Tecnologia elettronica* [4 ore]

Transistori, porte logiche, circuiti combinatori, *flip-flop*. Circuiti sequenziali, registri; tecnologie elettroniche (MOS, bipolari, circuiti integrati).

#### *Architettura degli elaboratori elettronici* [8 ore]

Unità di *input* (*buffer*, ADC; tastiera, *mouse*, *scanner*, tavoletta grafica); unità di *output* (*buffer*; video, stampanti, *plotter*); unità operativa (ALU, registri, *flag*); memoria (indirizzamento, RAM, ROM; *floppy disk*, *hard disk*, CD-ROM; nastri magnetici, QIC, DAT); unità di controllo (*program counter*, *instruction register*, esecuzione di un'istruzione)

#### *Il software* [4 ore]

Il sistema operativo (funzionalità; sistemi *batch*, *multitask*, *time-sharing*, *real-time*, *fault tolerant*); gli strumenti per lo sviluppo dei programmi (interprete, compilatore, *linker*, librerie statiche e dinamiche, *debugger*, *profiler*); linguaggi di programmazione (codice macchina, linguaggio *assembler*, linguaggi ad alto livello).

#### *Il sistema operativo MS-DOS* [4 ore]

Organizzazione interna, interfaccia utente, *file* di comandi, istruzioni di configurazione.

*Strumenti di produttività individuale* [8 ore]

Elaborazione di testi e tabelle in formato elettronico; *database*.

*Il linguaggio C* [20 ore]

Tipi di dato, istruzioni di assegnazione, operazioni aritmetiche e logiche, istruzioni di controllo, sottoprogrammi e passaggio dei parametri, libreria di I/O, libreria matematica, *file* di testo.

*Telematica* [12 ore]

Tipologie di comunicazione (seriale, parallela; sincrona, asincrona; a commutazione di circuito e di pacchetto); reti di calcolatori (topologia a stella, ad anello ed a *bus*; LAN, MAN e WAN; esempi: lo *standard* IEEE 802.3, la rete Internet); strumenti di comunicazione in rete (posta elettronica, trasferimento di dati, terminale virtuale; il cibernazio: *gopher*, *veronica*, *wais*, *www*); sistemi *client-server*.

## ESERCITAZIONI

- Codifica dell'informazione: conversioni tra basi diverse, codifica di numeri relativi e razionali, codifica di informazioni generiche, rivelazione e correzione di errori casuali; [2 ore]
- operazioni aritmetiche: addizioni e sottrazioni in binario puro ed in complemento a due; [2 ore]
- logica booleana: verifica di espressioni logiche, costruzione e minimizzazione di funzioni logiche; [2 ore]
- architettura degli elaboratori elettronici: dimensionamento di componenti e calcolo di prestazioni; [2 ore]
- i *personal computer* MS-DOS: configurazione *software* di un PC, scrittura di *file* di comandi; [4 ore]
- programmazione in linguaggio C: interfacce a menù, applicazione di formule matematiche, riduzione di dati numerici, analisi di testi. [16 ore]

## LABORATORIO

- uso dei *personal computer* MS-DOS; [4 ore]
- programmazione in linguaggio C; [14 ore]
- uso di strumenti di produttività individuale; [4 ore]
- uso di strumenti per la navigazione in rete. [2 ore]

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Dispense delle lezioni ed esercitazioni (presso le cooperative del Politecnico).

P. Tosoratti, G. Collinassi, *Introduzione all'informatica*, Ambrosiana.

B. Kernigham, D. Ritchie. *Il linguaggio C*, Jackson.

Testo per approfondimenti:

Peter Bishop, *Informatica*, Jackson.

## ESAME

L'esame si articola su due prove scritte (una di teoria ed una di programmazione) da superare entrambe nel medesimo appello. Il voto finale è la media aritmetica (arrotondata per eccesso) dei voti riportati nelle due prove scritte.

Per gli allievi regolari è prevista verso la fine di maggio una prova speciale di teoria che, in caso di superamento, esonera per un anno dalla relativa prova scritta permettendo così all'allievo di sostenere negli appelli successivi solo più la prova di programmazione. La prova di esonero resta valida anche in caso di insufficienza in una prova di programmazione. Nel caso che l'allievo si presenti ad una prova di teoria, il voto dell'eventuale prova di esonero viene automaticamente cancellato, indipendentemente dal risultato della prova di teoria.

## E0232      **Analisi matematica 2**

Anno: periodo 2:1    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 72+48 (nell'intero periodo)

Docenti: Andrea Bacciotti, Paolo Boieri, Valeria Chiadò Piat

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

REQUISITI. *Analisi matematica 1, Geometria.*

### PROGRAMMA

1. Calcolo differenziale in più variabili: funzioni di più variabili e topologia dello spazio euclideo  $n$ -dimensionale; [8 ore di lezione + 2 di esercitazione]  
calcolo differenziale per funzioni di più variabili, formula di Taylor, massimi e minimi liberi. [10+4 ore]
2. Calcolo differenziale su curve e superfici, funzioni implicite, massimi e minimi vincolati. [8+6 ore]
3. Calcolo integrale in più variabili: misura degli insiemi, integrali multipli. [8+8 ore]
4. Integrali su curve e superfici, integrali di linea e di flusso, campi vettoriali, teoremi di Green, Gauss, Stokes. [10 +4 ore]
5. Spazi vettoriali normati e successioni di funzioni; convergenza uniforme. [6+2 ore]
6. Serie numeriche, convergenza assoluta. [6+3 ore]
7. Serie di Taylor e serie potenze. [8+3 ore]
8. Serie di Fourier: convergenza quadratica, puntuale e uniforme. [6+3 ore]
9. Sistemi differenziali: sistemi di equazioni differenziali e problemi di Cauchy; [4+1 h]  
equazioni e sistemi lineari a coefficienti costanti. [6+4 ore]

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni seguiranno gli argomenti delle lezioni e saranno di due tipi: o svolte alla lavagna dal personale docente, o svolte ai rispettivi tavoli dagli allievi.

### BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

A. Bacciotti, F. Ricci, *Lezioni di Analisi matematica 2*, Levrotto & Bella, Torino 1991.

Testi ausiliari:

M. Leschiutta, P. Moroni, M.T. Vacca, *Esercizi di matematica*, Levrotto & Bella, Torino, 1977.

P. Marcellini, C. Sbordone, *Esercitazioni di matematica. Vol. 2., parte 1. e 2.*, Liguori, 1991.

### ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed una prova orale. Il superamento della prova scritta è condizione necessaria per accedere alla prova orale. Per sostenere la prova scritta, gli studenti devono prenotarsi presso la segreteria didattica del dipartimento. Maggiori dettagli sulle modalità di svolgimento delle prove saranno forniti all'inizio del corso.

## E 1902      Fisica 2

Anno: periodo 2: 1

Docente: Bruno Minetti

Il corso riguarda la trattazione dell'elettromagnetismo classico fino all'enunciazione delle equazioni di Maxwell, alla deduzione e soluzione dell'equazione di D'Alembert per la propagazione di onde piane. Comprende una trattazione a livello elementare dei fenomeni di interferenza, diffrazione, e propagazione dell'onda in mezzi anisotropi.

A seguito di un rapido cenno all'analisi di Fourier, viene dedotto il concetto di pacchetto d'onda, sua ampiezza e durata e da qui viene tratto spunto per l'enunciazione dei principi di indeterminazione di Heisenberg. Seguirà una descrizione dei fondamenti sperimentali su cui si basa la dualità onda - corpuscolo.

Si enunciano i principi fondamentali della termodinamica classica, e il significato dei principali potenziali termodinamici. Attraverso il concetto di probabilità termodinamica e di funzione di partizione si arriva alla definizione statistica dei potenziali termodinamici fondamentali.

*Per orientarsi sul programma.* È stato consegnato a lezione, ai rappresentanti del corso, un programma "preventivo", suddiviso in possibili argomenti d'esame e con i riferimenti ai testi. A fine corso, questo programma "preventivo" da considerarsi di appoggio e di orientamento, sarà sostituito da un programma "consuntivo".

### PROGRAMMA

Questo programma non è organizzato per argomenti successivi ma è strutturato in argomenti o "tesi", ciascuna delle quali può essere oggetto di una domanda d'esame nella disciplina specifica).

#### *Elettromagnetismo.*

1. Campo elettrico e potenziale elettrico. Energia potenziale e lavoro del campo. Relazione tra campo e potenziale nel vuoto e nella materia. [Rif.: Amaldi et al., 3 e 4].
2. Il teorema di Gauss. Forma integrale e forma differenziale nel vuoto [3.11], nella materia [4.12].
3. Dipolo elettrico statico; definizione di momento di dipolo [3.17] solo definizione; potenziale e campo generati da un dipolo [3.16]; energia di un dipolo in un campo esterno [3.16, 3.19]; azioni meccaniche su di un dipolo nel caso di campo uniforme e non [3.19]. Dipolo elettrico "dinamico" [12.3].
4. Dielettrici [4.11]. Vettore intensità di polarizzazione  $\mathbf{P}$ ; cariche legate e campo elettrico risultante nello *slab*. Relazione tra densità di carica legata e  $\mathbf{P}$  in sostanze uniformemente polarizzate e non. Significato della *div P*.
5. Relazione tra  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{D}$  [4.12]. Prima equazione di Maxwell. Costante dielettrica e suscettività dielettrica [4.13].
6. Passaggio da un dielettrico ad un altro [4.16]. Misurazioni dei vettori  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{D}$  [4.17]. Esempio del condensatore piano con due dielettrici [4.18]. Rigidità dielettrica [4.18].
7. Energia elettrostatica di un condensatore e densità di energia del campo elettrico (verifica della validità della formula) [3.30]. Misura della *epsilon*, [4.19].

8. La corrente elettrica [5.1]. Intensità di corrente [5.1]. Vettore densità di corrente  $\mathbf{J}$ , sua relazione con la velocità media dei portatori [5.1]. Legge di Ohm microscopica [5.5]. Equazione di continuità della carica nei casi stazionari e non [5.2].
9. Resistenza ohmica [5.3]. Forza elettromotrice [5.8]. Resistenza in serie e parallelo. Inserzione di voltmetro e amperometro. Legge di Ohm generalizzata. Resistenza interna di un generatore. Ponte di Wheatstone. Sensibilità di uno strumento. Errore di una misurazione diretta e indiretta [da laboratorio].
10. Il vettore  $\mathbf{B}$  [6.4]. Forza di Lorentz su una carica in moto [6.5]. Forza su un elemento di circuito percorso da corrente [6.4]. Passaggio dall'una all'altra espressione della forza [6.5]. Seconda legge di Laplace [6.4].
11. Azioni meccaniche di un campo su una spira [6.20.1]. Momento magnetico di una spira. Energia del dipolo magnetico. Dipolo magnetico in campo magnetico non uniforme.
12. Campo generato da una corrente. Prima legge di Laplace [6.7]. Legge della circuitazione di Ampère [6.12]. Esempificazione della loro equivalenza (caso del filo rettilineo indefinito). Campo generato da una spira [6.9]. La divergenza di  $\mathbf{B}$ : seconda equazione di Maxwell [6.11]. Introduzione formale di  $\mathbf{H}_0$  [6.13].
13. Quarta equazione di Maxwell nel caso stazionario nel vuoto [6.12]. Quarta equazione di Maxwell nel caso non stazionario. Corrente di spostamento [9.1]. Interazione tra correnti rettilinee: definizione dell'Ampere [6.10].
14. Correnti atomiche e momento magnetico di un atomo [7.5]. Magnetone di Bohr. Teorema di Larmor [7.6]. Aspetti microscopici di para-, dia- e ferromagnetici [7.3]. La polarizzazione magnetica [7.2].
15. Aspetti macroscopici di dia- e paramagnetici [7.9]. Il vettore  $\mathbf{M}$  [7.10]. Il vettore  $\mathbf{H}$  nella materia. Teorema della circuitazione di Ampère nel caso delle "correnti legate". Relazioni tra  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{B}$ . Suscettività e permeabilità,  $\mu_r$ , nei para- e diamagnetici [7.12].
16. Il ferromagnetismo [7.12.3]. Aspetti microscopici e macroscopici. Relazione tra  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{H}$  e  $\mathbf{M}$ . Dipendenza della suscettività magnetica e permeabilità magnetica dal campo magnetizzante. Ciclo di magnetizzazione; elementi per il progetto di un elettromagnete [7.15-17].
17. La legge dell'induzione magnetica [8.2]. Enunciazione secondo Faraday-Neumann [8.3]. Deduzione della legge dall'esistenza della forza di Lorentz. Terza equazione di Maxwell. *F.e.m.* come lavoro di un campo elettromotore. Flusso tagliato e flusso concatenato [8.4].
18. Autoinduzione [8.6]. Mutua induzione. Extra-correnti di chiusura e apertura in un circuito induttivo. Carica e scarica di un condensatore.
19. Energia del campo magnetico [8.7]. Densità di energia. Dimostrazione della validità della formula nel caso particolare del filo coassiale. Bilancio energetico in circuiti RC e RL.
20. Circuiti R, L, C in alternata [8.9-10]. Oscillazioni forzate. Oscillazioni smorzate. Risonanza [appunti distribuiti].

21. Le quattro equazioni di Maxwell [9.2]. Il teorema di Poynting [9.5]. Vettore di Poynting: suo significato e sua definizione come grandezza dimensionata.
22. Onda piana polarizzata linearmente [9.3, 1 e 2]. Equazione dell'onda di D'Alembert: sua deduzione dalle equazioni di Maxwell. Soluzione generale dell'equazione: onda progressiva e regressiva. Rapporto tra i moduli di  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{H}$ . Velocità della luce nel vuoto.
23. Onda piana polarizzata linearmente e sinusoidale [9.3.3]. Sua importanza in rapporto all'analisi di Fourier [8.1]. Relazione di dispersione. Intensità di una radiazione [9.3.4].
24. Battimenti tra due oscillazioni di eguale ampiezza e frequenze vicine; somme di due onde con pulsazioni e numeri d'onda prossimi [appunti distribuiti]. Velocità di modulazione. Velocità di gruppo e velocità di fase. Pacchetti d'onda; spettro di Fourier di un pacchetto d'onda; principio di indeterminazione tempo - energia [12.7.8].
25. Interazione onda - materia: indice di rifrazione complesso, costante  $\epsilon_r$  e polarizzabilità atomica: legame [12.3]. Assorbimento nei dielettrici.
26. Assorbimento nei metalli [12.6]. Caso delle basse frequenze. Caso delle alte frequenze.
27. Il sistema internazionale da elaborazione personale (sulla base degli argomenti precedentemente trattati).  $\epsilon_0$ : sua equazione dimensionale.  $\mu_0$ : sua equazione dimensionale. Velocità della luce.
28. Dalle equazioni di Maxwell al teorema di Poynting, alle equazioni di D'Alembert (da elaborazione personale sulla base degli argomenti precedentemente trattati) da elaborazione personale. Enunciazione dei contenuti delle equazioni di Maxwell.
29. Corda continua [appunti distribuiti]. Dipendenza della velocità dalla tensione della fune e dalla densità lineare della fune. Quantizzazione delle lunghezze d'onda.

#### Ottica.

30. Interferenza: definizione generale [14]. Sorgenti coerenti e incoerenti. Interferenza tra onde prodotte da due sorgenti coerenti: a) intensità media dell'onda risultante quando le sorgenti non sono coerenti, b) interferenza costruttiva e distruttiva.
31. Metodo per osservare l'interferenza [14.1]. Interferenza in lamine sottili [14.2].
32. Principio di Huyghens - Fresnel. Diffrazione: definizione generale. Diffrazione da una fenditura rettangolare indefinita e interpretazione fenomeno diffrazione [appunti distribuiti].
33. Reticolo di diffrazione [appunti distribuiti]. Diffrattometro. Misura della lunghezza d'onda. Collimatore. Cannocchiale. Errore nella misurazione di  $\lambda$  [laboratorio].
34. Propagazione della luce nei mezzi anisotropi [16.1]. Ellissoide degli indici [16.2-3]. Prisma di Nicol [16.4]. Lamina a quarto d'onda [16.4].

#### Termodinamica.

35. Termoscopio, termometro, scala centigrada, termometro a gas, temperatura assoluta, temperatura termodinamica [Rif.: Lovera et al., I, II].

36. Il calore: suo significato fisico e sua misura [III]. Propagazione del calore. conduzione e convezione [III.5]. Capacità termica e calore specifico. Calorimetro isoterma e adiabatico.

38. Gas perfetti [II.4]. Teoria cinetica dei gas [II.5, II.7]. Gas reali [II.10]. Cambiamenti di stato [II.14].

39. Trasformazioni termodinamiche [III.6,-8]. Enunciazione del primo principio della termodinamica in forma differenziale.

40. Dimostrazione sperimentale dell'equivalenza tra lavoro e calore ed espressione integrale del primo principio [III.9-10, III.12]. Energia interna.

41. Calori specifici a volume costante e a pressione costante: loro relazione [III.12-13].  $C_p$ ,  $C_v$  per gas "perfetti" monoatomici e biatomici.

42. Ciclo di Carnot [IV.1-8]. Rendimento ciclo di Carnot. Enunciazione del secondo principio della termodinamica. Enunciazione del teorema di Carnot. Temperatura termodinamica.

43. Enunciazione del secondo principio della termodinamica: enunciati di Clausius e di Kelvin, loro equivalenza. Teorema di Carnot [IV.4].

44. Enunciazione del teorema di Clausius in trasformazioni reversibili. Variazione di entropia: sistema isolato. Universo termodinamico [IV.7-9]. Entropia e reversibilità. Entropia e irreversibilità. Variazioni di entropia dell'universo in seguito a trasformazioni naturali [IV.13].

#### *Meccanica statistica.*

45. Discretizzazione dei livelli in un sistema confinato. Probabilità termodinamica e distribuzione di equilibrio: funzione di partizione. Equipartizione dell'energia; interpretazione statistica di lavoro e calore. Entropia e disordine. Entropia e informazione [appunti distribuiti].

#### BIBLIOGRAFIA

E. Amaldi, R. Bizzarri, G. Pizzella, *Fisica generale (elettromagnetismo, relatività, ottica)*, Zanichelli.

Lovera, Malvano, Minetti, Pasquarelli, *Calore e termodinamica*, Levrotto & Bella, Torino.

#### ESAME

La prova d'esame consta di una prova scritta e una orale. Le due prove debbono considerarsi un tutto unico e si integrano a vicenda.

La prova scritta ha validità solo se superata con almeno 15 punti su 30.

Immediatamente dopo la fine del corso avrà luogo una prova scritta "di esonero" con validità un anno accademico.

In ogni appello d'esame verrà proposta una prova scritta che potrà talvolta essere individuale o a piccoli gruppi (nelle sessioni in cui si presentino particolari difficoltà nel reperimento spazi per esami).

In un dato appello la prova orale può seguire immediatamente nel tempo la prova scritta, senza soluzione di continuità. Se uno studente desidera separare nel tempo prova scritta e prova orale può farlo nel senso che la validità della prova scritta, una volta superata, è estesa a tutta la sessione.

*Avviso importante.* Non è richiesta prenotazione per l'esame, ma chiunque voglia sostenere l'esame scritto o orale in corrispondenza di un dato appello d'esame deve presentare lo statino all'ora fissata per l'appello stesso e cioè prima dell'inizio della prova scritta, anche se il candidato è da questa esonerato.

Per evidenti esigenze organizzative, chi non avrà presentato lo statino al momento fissato in bacheca per l'inizio dell'appello o comunque al massimo entro la prima mezz'ora (in caso di ritardi indipendenti dalla volontà del candidato) non potrà essere ammesso a sostenere le prove.

## E 1790 Elettrotecnica

Anno: periodo 2:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 72+48 (nell'intero periodo)

Docente: Vito Daniele

Il corso si propone di fornire le nozioni di base dell'elettrotecnica indispensabili per una corretta utilizzazione delle macchine e degli impianti elettrici, tenendo anche conto dei problemi relativi alla sicurezza. A tale scopo, vengono esposti i fondamenti dell'analisi delle reti di bipoli lineari in regime stazionario e quasistazionario e sono richiamati alcuni aspetti fondamentali della teoria dei campi necessari per la comprensione del funzionamento dei componenti dei sistemi elettrici. La teoria e i modelli sviluppati nella prima parte del corso sono infine applicati allo studio delle più comuni macchine elettriche e degli impianti di distribuzione dell'energia elettrica.

REQUISITI. *Analisi Matematica 1 e 2, Fisica 1 e 2, Geometria.*

### PROGRAMMA

#### *Prima parte: circuiti.*

Multipoli e modello circuitale dei fenomeni elettromagnetici, regimi di funzionamento, metodo simbolico. [8 ore]

Grandezze elettriche e loro proprietà, classificazione dei componenti ideali, considerazioni energetiche sui componenti ideali, connessioni tra i componenti. [12 ore]

Metodi di analisi dei circuiti elettrici in regime permanente, trasformazioni energetiche nei circuiti. [8 ore]

Circuiti in regime transitorio, transitori del primo e del secondo ordine. [4 ore]

Sistema trifase, definizioni, metodi di soluzione di circuiti trifase equilibrati e squilibrati, misura della potenza. [6 ore]

#### *Seconda parte: campi.*

Richiami sui campi vettoriali e sulle loro proprietà, equazioni di Maxwell, campo di corrente statico, leggi fondamentali dei circuiti in forma locale. [4 ore]

Dispersioni e impianti di terra, cenni sulle normative antinfortunistiche, dimensionamento e protezione dei conduttori. [4 ore]

Campo elettrostatico, capacità e rigidità dielettrica, campo elettrico quasistazionario, corrente di spostamento. [2 ore]

Campo magnetico statico e quasistazionario, proprietà dei materiali ferromagnetici, circuiti magnetici, relè differenziale, auto- e mutue induttanze, generalizzazione del potenziale elettrico e forze elettromotrici indotte. [6 ore]

Energia magnetica, perdite nel ferro, conversione elettromeccanica dell'energia, elettromagneti, motori a riluttanza passo-passo. [6 ore]

*Terza parte: macchine elettriche.*

Trasformatore ideale, trasformatore reale e circuito equivalente, prove sul trasformatore, trasformatore trifase, parallelo di trasformatori, cenni su autotrasformatore e trasformatori di misura. [8 ore]

Campo magnetico rotante, motore asincrono trifase e circuito equivalente, prove sui motori asincroni, avviamento e regolazione della velocità nei motori asincroni, macchina a induzione, motore asincrono monofase. [6 ore]

Macchina elettrica a corrente continua, tipologie di eccitazione e circuiti equivalenti, commutazione, motori *brushless*. [4 ore]

Cenni sul generatore sincrono. [2 ore]

**ESERCITAZIONI**

Analisi dei circuiti in regime stazionario e quasistazionario. [12 ore]

Campi di corrente, elettrici e magnetici. [6 ore]

Macchine elettriche. [8 ore]

**BIBLIOGRAFIA**

Testo di supporto:

P.P. Civalleri, *Elettrotecnica*, Levrotto & Bella, Torino.

Testi per approfondimenti:

V. Daniele, A. Liberatore, R. Graglia, S. Manetti, *Elettrotecnica*, Monduzzi, Bologna.

A.E. Fitzgerald, C. Kingsley, A. Kusko, *Macchine elettriche*, Angeli, Milano.

**ESAME**

L'esame è composto da una prova scritta e da un colloquio. La prova scritta richiede la soluzione di tre problemi relativi ad argomenti svolti durante il corso; durante tale prova è consentita la consultazione di testi ed appunti.

Il superamento della prova scritta è vincolante per l'ammissione al colloquio orale, che deve essere sostenuto nell'ambito dello stesso appello.

Per partecipare all'esame è necessario effettuare la prenotazione consegnando lo statino. Durante il corso vengono svolti due compiti scritti riservati agli iscritti regolari per ottenere l'esonero dalla prova scritta.

**E5340      Struttura della materia**

Anno: periodo 2:2    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8 (ore settimanali)

Docente: Piero Mazzetti

REQUISITI. *Fisica 1 e 2.*

**PROGRAMMA***A Introduzione alla meccanica quantistica.*

Meccanica classica lagrangiana, equazioni di Hamilton-Jacobi, parentesi di Poisson, passaggio alla meccanica ondulatoria, principio di indeterminazione, postulati fondamentali della teoria, equazione di Schrödinger, spazio di Hilbert e formulazione generale della meccanica quantistica in forma matriciale, teoria delle perturbazioni stazionaria e dipendente dal tempo.

*B Applicazioni della meccanica quantistica.*

Elettrone libero, elettrone come pacchetto d'onde, elettrone in una buca di potenziale,

oscillatore armonico, atomo di idrogeno, modello a campo centrale dell'atomo, tavola periodica degli elementi.

*C Concetti fondamentali di meccanica statistica.*

Spazio delle fasi e teorema di Liouville, statistica di Boltzman-Gibbs, di Bose-Einstein e di Fermi-Dirac, teorema di equipartizione dell'energia e sue applicazioni, vacanze reticolari, ordine - disordine nelle leghe binarie e entropia di mescolamento, applicazioni della statistica di Fermi-Dirac al gas di elettroni.

*D Struttura dei solidi cristallini.*

Reticoli cristallini, vettori di base, spazio reciproco, reticolo reciproco e sue proprietà, diffrazione dei raggi X, concetto di momento cristallino e proprietà generali di conservazione per processi di interazione tra elettroni, fotoni, fononi nello spazio reciproco, invarianza traslazionale e teorema di Bloch.

*E Proprietà vibrazionali dei solidi.*

Approssimazione armonica, modi vibrazionali normali, legge di dispersione, catena di atomi unidimensionale, branca acustica e branca ottica in reticoli biatomici, quantizzazione dell'energia e concetto di fonone, calore specifico fononico nelle approssimazioni di Einstein e Debye, effetti anarmonici, conducibilità termica e dilatazione termica.

*F Proprietà elettroniche dei solidi.*

Elettroni liberi in un metallo ed elettroni perturbati da un potenziale periodico, nascita di una struttura a bande dell'energia, elettroni in un reticolo cristallino e onde di Bloch, zone di Brillouin, superficie di Fermi, metalli, semiconduttori, isolanti, calcolo della struttura a bande in metalli e isolanti, transizioni elettroniche in semiconduttori.

*G Teoria di Hartree e Hartree-Fock per gli elettroni in un cristallo.*

*Spin* elettronico, matrici di Pauli, stati di singoletto e di tripletto, equazioni di Hartree ed Hartree-Fock, calcolo dell'energia media, interazione di scambio ed energia di scambio, metodi autoconsistenti per il calcolo dell'energia di un gas di elettroni in interazione, applicazioni alla molecola di idrogeno.

*H Proprietà magnetiche dei solidi.*

Hamiltoniana di un gas di elettroni in campo magnetico, diamagnetismo di elettroni legati, diamagnetismo di Landau degli elettroni liberi, paramagnetismo, funzione di Brillouin, ferromagnetismo nella teoria di Weiss e di Heisenberg, materiali ferromagnetici e teoria dei domini, applicazioni dei materiali ferromagnetici.

*I Difetti nei solidi.*

Vacanze reticolari in equilibrio termico in un cristallo, interstiziali, dislocazioni lineari ed a vite, moto e moltiplicazione delle dislocazioni e deformazione plastica dei cristalli.

*L Proprietà ottiche dei solidi.*

Risposta dielettrica, riflettività ed assorbimento ottico, transizioni interbanda, eccitoni, effetto Raman, centri di colore.

**BIBLIOGRAFIA.** Oltre a dispense fornite dal docente, vengono consigliati testi diversi a seconda dell'argomento trattato.

**ESAME.** L'esame consiste in una prova orale. È facoltativo svolgere una tesina su un argomento del corso. Tale tesina verrà poi discussa al momento dell'esame.

## E0234      **Analisi matematica 3**

(Corso ridotto)

Anno: periodo 2:2    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 3+1 (ore settimanali); 36+14 (nell'intero periodo)  
 Docente: Giancarlo Teppati

Introduzione e sviluppo delle tecniche matematiche avanzate di uso più frequente nell'ingegneria: in particolare, studio di funzioni complesse di variabile complessa e delle trasformate di Fourier e di Laplace. Saranno studiate in modo esteso le funzioni analitiche e verranno anche introdotti argomenti di analisi funzionale classica, come la teoria delle distribuzioni e il prodotto di convoluzione, in modo da poter trattare correttamente, dal punto di vista matematico, le trasformate integrali.

### PROGRAMMA

Funzioni complesse di variabile complessa, esempi di funzioni complesse, limiti, continuità, derivabilità, funzioni analitiche, condizioni di Cauchy-Riemann sotto forma cartesiana e polare, funzioni armoniche, coniugate armoniche.

Integrazione in campo complesso, teorema fondamentale di Cauchy sull'integrazione, poli e residui, teorema dei residui, formula integrale di Cauchy, formula integrale per le derivate, teorema di Liouville, calcolo di integrali e lemmi relativi.

Sviluppi di Taylor e di Laurent. Teoremi vari sulle serie. Convergenza ed unicità e esistenza di sviluppi di Taylor e di Laurent, residuo all'infinito, principi di identità.

Studio locale di funzioni analitiche, classificazione delle funzioni analitiche.

Introduzione alla teoria delle distribuzioni, successioni e limiti di successioni di funzioni e funzionali, distribuzioni come funzionali lineari e continui, operazioni sulle distribuzioni,  $\delta$  e p.f.  $1/t$ , prodotto di convoluzione di funzioni e distribuzioni.

Introduzione alle trasformate di Fourier e di Laplace di funzioni, proprietà della trasformata di Fourier di funzioni, distribuzioni a crescita lenta, trasformata di Fourier di distribuzioni a crescita lenta.

Calcolo di trasformate di Fourier di distribuzioni notevoli, distribuzioni periodiche e trasformate, treno di impulsi e trasformate, teorema del campionamento, trasformata di Laplace, dominio e teorema sulla analiticità di una trasformata di Laplace.

Formula di antitrasformazione della trasformata di Laplace, trasformata unilatera di Laplace e sue proprietà.

### BIBLIOGRAFIA

G. Teppati, *Lezioni di Analisi matematica III*, Levrotto & Bella (in corso di stampa).  
 G. Teppati, *Esercizi svolti di Analisi matematica III* (in corso di stampa).

### ESAME

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

Il prerequisito necessario per sostenere l'esame è l'aver sostenuto gli esami di *Analisi 1* e 2.

**E0514      Calcolo numerico**

(Corso ridotto)

Anno: periodo 2:2    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 3+1 (ore settimanali); 38+12 (nell'intero periodo)

Docente: Giovanni Monegato

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

REQUISITI. *Analisi 1, Geometria, Fondamenti di informatica.*

## PROGRAMMA

*1. Aritmetica del calcolatore e algoritmi numerici.* [3 ore]

Errori di arrotondamento, operazioni di macchina.

Cancellazione numerica.

Condizionamento di un problema, stabilità di un algoritmo.

*2. Sistemi lineari.* [8 ore]

Metodo di eliminazione di Gauss.

Decomposizione di Gauss e fattorizzazione LU.

Determinazione matrice inversa.

Metodi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR.

*3. Autovalori di matrici.* [4 ore]

Metodo delle potenze.

Metodo delle potenze inverse.

Cenni sul metodo QR.

*4. Approssimazione di dati e di funzioni.* [8 ore]

Interpolazione polinomiale: formule di Lagrange e di Newton.

Interpolazione con funzioni polinomiali a tratti.

Funzioni *spline*.

Metodo dei minimi quadrati.

*5. Equazioni non lineari.* [3 ore]

Radici di equazioni non lineari: metodi di bisezione, secanti, tangenti; metodi iterativi in generale.

Sistemi di equazioni non lineari: metodo di Newton e sue varianti; metodi iterativi in generale.

*6. Calcolo di integrali.* [4 ore]

Formule di quadratura di tipo interpolatorio: formule di Newton-Cotes e formule gaussiane.

Formule composte.

*7. Equazioni differenziali ordinarie.* [4 ore]Metodi *one-step* espliciti. Metodi Runge-Kutta.Metodi *multistep* lineari. Metodi di Adams.

Convergenza e stabilità dei metodi numerici.

## ESERCITAZIONI

Vengono sottolineati, con esempi, aspetti particolarmente importanti degli argomenti trattati nelle lezioni, svolti esercizi che contribuiscono ad una miglior comprensione della teoria e costruiti algoritmi di calcolo. Vengono infine proposte allo studente delle esercitazioni al calcolatore da svolgere a casa o presso i LAIB del Politecnico.

## BIBLIOGRAFIA

G. Monegato, *Elementi di calcolo numerico*, Levrotto & Bella, Torino, 1995.

## ESAME

1. Per i soli iscritti al corso è prevista una prova scritta finale, su tutto il programma svolto, sostitutiva dell'esame orale. Tale prova è da considerarsi alternativa al primo appello d'esame. Nel corso della prova non è ammessa la consultazione di testi. L'eventuale ritiro durante la prova di esonero non comporta alcuna conseguenza.
2. Negli appelli previsti dal calendario l'esame è solo orale.

## E 1660      **Elementi di meccanica teorica e applicata**

Anno/periodo 2:2    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 68+40 (nell'intero periodo)  
Docente: Massimo Sorli (collab.: Giuseppe Quaglia)

Il corso fornisce i principali elementi teorici e applicativi della meccanica. Partendo da una serie di richiami sulla cinematica del punto e del corpo rigido introduce i principali accoppiamenti fisici fra gli organi delle macchine, definendo, quindi, la tipologia di forze presenti negli organi delle macchine. Vengono analizzati tipici organi di macchine ad attrito, quali i freni e le frizioni. Vengono quindi descritti i dispositivi per la trasmissione del moto, sia a ingranaggi sia a flessibili. Infine, viene analizzato il comportamento dinamico di sistemi meccanici costituiti da un motore, un elemento di trasmissione ed un utilizzatore, con riferimento a reali condizioni di lavoro.

REQUISITI. *Fisica I.*

## PROGRAMMA

*Richiami di cinematica.* [8 ore]

Velocità e accelerazione di un punto e di un sistema rigido; centro delle velocità; moti relativi; accelerazione di Coriolis; metodi grafici per la risoluzione dei problemi di cinematica; tipi di legge del moto.

*Accoppiamenti.* [4 ore]

Rotoidale, prismatico, incastro; gradi di libertà. Supporti. Geometria delle masse: baricentri e momenti d'inerzia.

*Statica.* [2 ore]

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.* [11 ore]

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; sistemi giroscopici; urti.

*Forze agenti negli accoppiamenti.* [6 ore]

Aderenza e attrito, attrito nei perni, impuntamento; attrito volvente.

Riepilogo e chiarimenti prima dell'accertamento intermedio. [4 ore]

*Componenti meccanici ad attrito.* [11 ore]

Freni: tipologie costruttive, tipi di accostamento, freni a pattino piano, a ceppi, a disco, a nastro. Innesti a frizione: piani, multidisco, conici.

*La trasmissione del moto.* [12 ore]

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.

*I sistemi meccanici.* [7 ore]

Accoppiamento tra motori e macchine operatrici (motore e riduttore e carico, motore e frizione e carico); sistemi a regime periodico, grado di irregolarità del volano; sistemi vibranti (oscillazioni libere e forzate).

Riepilogo e chiarimenti per accertamento finale. [3 ore]

**ESERCITAZIONI**

Nel corso delle esercitazioni vengono svolti esempi illustrativi degli argomenti del corso, con particolare riferimento ad applicazioni pratiche.

Normalmente i testi delle esercitazioni vengono consegnati la volta precedente, in modo che gli allievi possano provare in anticipo la soluzione dei problemi e possano discutere o direttamente esporre la esercitazione in aula.

**BIBLIOGRAFIA**

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

Jacazio, Piombo, *Meccanica applicata alle macchine. Vol. I e II*, Levrotto & Bella, Torino.

Jacazio, Piombo, *Esercizi di meccanica applicata alle macchine*, Levrotto & Bella, Torino.

**ESAME**

Sono previsti due accertamenti scritti, uno intermedio circa a metà del corso e uno finale al termine delle lezioni. Il superamento dei due accertamenti, con almeno 18/30 per ognuno garantisce il superamento dell'esame, senza la necessità della prova orale. Il mancato superamento di entrambi gli scritti presuppone la prova orale. Coloro che non abbiano superato gli accertamenti (mancata presenza o non idoneità) saranno valutati solo con prova orale. Sia le prove scritte (durante il corso), sia le prove orali verteranno su temi trattati sia a lezione, sia ad esercitazione.

## E 4600      **Scienza delle costruzioni**

Anno: periodo 3:1      Lezioni, esercitazioni, laboratori: 52+60 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Enrico Ballatore (collab.: Antonio Brencich)

La *meccanica dei solidi elastici lineari* viene trattata deducendo le equazioni di equilibrio e congruenza e le leggi costitutive nella formulazione generale del solido tridimensionale, che viene particolarizzata per il caso bidimensionale (lastre o piastre) e unidimensionale (travi). Le relazioni analitiche sono estese alle applicazioni numeriche, con particolare riguardo al metodo degli elementi finiti di cui sono fornite rigorose basi concettuali.

La *teoria dei sistemi di travi* viene trattata sotto il duplice aspetto statico e cinematico. L'equilibrio delle strutture isostatiche è interpretato sia sul piano algebrico che su quello grafico ed in tale contesto vengono definite le caratteristiche interne della sollecitazione. La soluzione delle strutture iperstatiche viene proposta in linea generale applicando sia il metodo delle forze (o della congruenza) che quello degli spostamenti (o dell'equilibrio). Le soluzioni trovate sono quindi espresse in formulazione matriciale particolarmente utile per eseguire in maniera automatica il calcolo dei sistemi a molti gradi di iperstaticità.

La soluzione del problema dei telai piani (sia a nodi fissi che a nodi spostabili) viene esposta con due metodi alternativi: il cosiddetto "metodo dei telai piani" (secondo il quale si svincola la struttura introducendo cerniere in tutti i nodi-incastro), e il principio dei lavori virtuali, secondo la metodologia di Muller-Breslau.

Vengono infine illustrati i *fenomeni di collasso* più frequenti nell'ingegneria strutturale: lo svergolamento, lo snervamento e la frattura fragile.

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

### PROGRAMMA

1. *Geometria delle aree*: leggi di trasformazione del vettore dei momenti statici e del tensore dei momenti di inerzia per roto-traslazioni del sistema di riferimento; direzioni e momenti principali di inerzia; cerchi di Mohr; simmetria assiale e polare.
2. *Cinematica dei sistemi di travi*: vincoli piani; maldisposizione dei vincoli; studio algebrico; studio grafico dei sistemi ad un grado di labilità (catene cinematiche).  
*Statica dei sistemi di travi*: studio algebrico; dualità statico-cinematica.
3. *Sistemi di travi isostatici*: determinazione delle reazioni vincolari con le equazioni ausiliarie, con il principio dei lavori virtuali e con il metodo grafico; curva delle pressioni; caratteristiche interne della sollecitazione; equazioni indefinite di equilibrio per le travi; archi a tre cerniere; strutture chiuse; travature reticolari.
4. *Analisi della deformazione*: tensore delle deformazioni; dilatazioni e scorrimenti; proiezioni del vettore spostamento; legge di trasformazione del tensore delle deformazioni per rotazioni del sistema di riferimento; direzioni principali di deformazione; dilatazione volumetrica.
5. *Analisi della tensione*: vettore tensione; tensore degli sforzi; proiezioni del vettore tensione; legge di trasformazione del tensore degli sforzi per rotazioni del sistema di riferimento; direzioni principali di tensione; tensori idrostatico e deviatorico; cerchi di Mohr; stato tensionale piano; equazioni indefinite di equilibrio; equazioni di equivalenza al contorno; formulazione matriciale e dualità statico-cinematica; principio dei lavori virtuali.
6. *Legge costitutiva elastica*: elasticità lineare; isotropia; modulo di Young e coefficiente di Poisson; problema elastico; equazione di Lamé in forma operatoriale; teorema di Clapeyron; teorema di Betti.

- Criteri di resistenza:* diagrammi tensione – deformazione per materiali duttili e fragili; criterio di Tresca; criterio di von Mises.
7. *Solido di Saint Venant:* ipotesi fondamentali; sforzo normale; flessione retta; sforzo normale eccentrico; flessione deviata; nocciolo centrale di inerzia; ortogonalità energetica; torsione (sezioni circolari e generiche, sezioni sottili aperte e chiuse); taglio (centro di taglio, trattazione semplificata di Jourawsky, sezione rettangolare, scorrimento medio, sezioni sottili); equazioni di congruenza per le travi; equazione di Lamé per le travi; equazione differenziale della linea elastica.
  8. *Lastre piane:* equazione di Sophie Germain; cenni al metodo delle differenze finite. *Applicazione del principio dei lavori virtuali alle travi elastiche:* determinazione degli spostamenti di strutture isostatiche e risoluzione delle strutture iperstatiche con distorsioni e spostamenti imposti, teoremi di Castigliano e Menabrea.
  9. *Risoluzione di telai piani iperstatici:* simmetria e anti-simmetria; metodo degli spostamenti; distorsioni termiche; telai a nodi fissi; telai a nodi spostabili.
  10. *Sistemi di travi iperstatici:* metodo delle forze; iperstaticità assiale; cedimenti elastici; cedimenti anelastici e spostamenti imposti; calcolo automatico dei sistemi a molti gradi di iperstaticità (travature reticolari, telai piani e spaziali, grigliati).
  11. *Metodo degli elementi finiti:* principio di minimo dell'energia potenziale totale, costruzione delle matrici di rigidità locale e globale mediante applicazione del principio dei lavori virtuali; condizioni di vincolo; illustrazione dell'utilizzo di un programma di calcolo agli elementi finiti.
  12. *Instabilità dell'equilibrio elastico:* trave rettilinea con varie condizioni di vincolo, portali; limiti di validità della formula di Eulero; cenni sull'instabilità degli anelli; instabilità flessione-torsionale.
  13. *Meccanica della frattura:* analisi energetica di Griffith, fattore di intensificazione delle tensioni, cenni su modo II e modo misto.  
*Cerniere plastiche:* nella trave a sezione rettangolare.

#### ESERCITAZIONI

- 1-2. *Geometria delle aree:* calcolo delle caratteristiche geometriche di aree elementari; esercizi su figure composte.
3. *Cinematica dei sistemi di travi:* catene cinematiche e loro applicazione al calcolo reazioni vincolari.
- 4-5. *Sistemi di travi isostatiche:* equazioni cardinali ed equazioni ausiliarie; determinazione delle reazioni vincolari con le equazioni ausiliarie e con il metodo grafico; diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione; curva delle pressioni.
6. *Esercitazioni riepilogative* su strutture isostatiche con soluzione dei temi di esame degli anni precedenti relativi a tali argomenti.
- 7-8. *Solido di Saint Venant:* esercizi relativi a flessione retta, sforzo normale eccentrico, flessione deviata, nocciolo centrale di inerzia, torsione (sezioni circolari, sezioni sottili aperte e chiuse), taglio, centro di taglio.
9. *Analisi della tensione e criteri di resistenza:* rappresentazione degli stati di tensione con i cerchi di Mohr, verifica complessiva delle sezioni; cenni sui criteri di sicurezza.
10. *Applicazione del principio dei lavori virtuali alle travi elastiche:* determinazione degli spostamenti in strutture isostatiche; risoluzione delle strutture iperstatiche con distorsioni e spostamenti imposti.
- 11-12. *Risoluzione di telai piani iperstatici:* telai a nodi fissi e a nodi spostabili con carichi, cedimenti e distorsioni termiche.
13. *Esercitazioni riepilogative* su strutture iperstatiche e verifica delle sezioni con soluzione dei temi di esame degli anni precedenti relativi a tali argomenti.

**BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento:

A. Carpinteri, *Scienza delle costruzioni*, Pitagora, Bologna, 1992.

Testo ausiliario:

A. Carpinteri, *Temi d'esame*, Pitagora, Bologna, 1993.

**ESAME**

L'esame si compone di:

1. una prova scritta che comprende tre esercizi:

A una struttura isostatica,

B una struttura iperstatica,

C una sezione (calcolo delle caratteristiche geometriche e verifica di resistenza).

Ciascun esercizio pone due quesiti: la prova è positiva se sono stati risolti almeno i primi quesiti di tutti e tre gli esercizi.

2. una prova orale sugli argomenti del programma svolto a lezione ed esercitazione;

3. una tesina sugli elementi finiti svolta utilizzando il programma illustrato nel corso e disponibile presso il LAIB del Politecnico. La prova scritta deve essere svolta tracciando tutti i grafici richiesti in forma precisa e accurata su carta quadrettata (da 5 mm) o su carta millimetrata, utilizzando quando necessario riga e squadra. Non viene consentito l'utilizzo di testi e appunti.

La prova orale deve essere sostenuta nello stesso appello in cui è stato superato lo scritto.

**E4590      Scienza dei materiali**

Anno: periodo 3:1    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 78+26 (nell'intero periodo)

Docente: Carlo Gianoglio

L'insegnamento si pone come obiettivo principale la descrizione delle caratteristiche e delle proprietà dei materiali, secondo un'ottica impostata su base unitaria. Il filo conduttore sarà costituito dalla costante correlazione tra la microstruttura e le proprietà chimico-fisico-meccaniche delle tre classi tipiche di materiali (ceramici, polimerici, metallici). Vengono impartite le varie nozioni di base indispensabili allo studente per poter affrontare nel miglior modo gli insegnamenti successivi di tipo specialistico, nei quali verranno descritti gli aspetti più propriamente tecnologici e applicativi dei materiali.

**REQUISITI.** Al fine di poter seguire agevolmente l'insegnamento è opportuno aver superato gli esami dei corsi di *Chimica e Fisica*.

**PROGRAMMA**

*Introduzione.* [2 ore]

Generalità sui materiali per applicazioni ingegneristiche e loro criteri di scelta in ambito progettuale.

*Correlazione tra microstruttura e proprietà.* [14 ore]

Tipologia del legame e struttura reticolare. Principali strutture dei materiali metallici e ceramici. Cristallinità dei polimeri. Posizioni reticolari e siti interstiziali. Distanza e densità dei piani. Difetti reticolari puntiformi. Soluzioni solide interstiziali e sostitu-

zionali. Difetti di linea. Movimento delle dislocazioni a spigolo e a elica. Dislocazioni miste. Meccanismi di bloccaggio delle dislocazioni.

*Transizioni di fase.* [16 ore]

Trasformazione liquido – solido. Analisi termica e termodifferenziale. Generalità sui diagrammi di fase a due componenti. Deduzione della regola della leva. Relazioni di equilibrio tra fasi diverse. Curve di *liquidus* e di *solidus*. Trasformazioni eutettiche, peritettiche, eutetoidiche, monotettiche e sintettiche. Transizioni allo stato solido. Generalità ed esempi relativi ai diagrammi di fase ternari.

*Comportamento meccanico del solido ideale.* [6 ore]

Deformazione elastica del cristallo perfetto. Carico teorico al limite elastico. Sistemi di scorrimento nei reticoli cristallini. Aspetti termodinamici dell'estensione uniassiale isoterma. Snervamento del solido policristallino. Meccanismi di deformazione in un polimero. Forza di legame ed energia per la frattura.

*Caratteristiche meccaniche dei materiali.* [12 ore]

Generalità sul comportamento meccanico dei materiali. Resistenza a trazione dei materiali ceramici di tipo ionico o covalente. Resistenza a trazione dei materiali metallici. Resistenza a trazione dei materiali polimerici, di tipo plastomerico ed elastomerico. Resistenza all'urto. Temperatura di transizione. Frattura duttile e frattura fragile. Correlazione tra durezza e resistenza a trazione. Resistenza a fatica. Parametri influenti sullo scorrimento viscoso. Influenza della temperatura sulla forza di ritrazione elastica. Comportamento viscoelastico.

*Deformabilità dei materiali.* [6 ore]

Relazione tra parametri micro- e macro-strutturali. Carico teorico al limite elastico. Sistemi di scorrimento nei reticoli cristallini. Interpretazione dei fenomeni di snervamento. Deformazione plastica con e senza scorrimento. Influenza dei difetti reticolari sulla deformabilità plastica dei materiali metallici.

*Diffusione allo stato solido.* [6 ore]

Modello relativo alla diffusione interstiziale. Diffusione nelle soluzioni solide sostituzionali. Diffusione stazionaria. Prima legge di Fick. Diffusione non stazionaria. Seconda legge di Fick.

*Fenomeni di nucleazione e crescita.* [6 ore]

Nucleazione omogenea. Energia di volume e di superficie. Dimensione critica dei grani. Velocità di nucleazione e di crescita. Nucleazione eterogenea. Attività degli agenti inoculanti. Curve tempo – temperatura – trasformazione.

*Trasformazioni allo stato solido.* [6 ore]

Generalità sulle trasformazioni di fase in assenza di diffusione. Fasi martensitiche stabili e metastabili. Effetto del soluto. Martensiti atermiche e isoterme. Piano limite e sua velocità di avanzamento. Trasformazioni per decomposizione spinodale.

*Rafforzamento dei materiali.* [6 ore]

Teoria dell'indurimento per precipitazione. Tempra di solubilizzazione. Rinvenimento ed invecchiamento. Zone di Giunier–Preston. Coerenza dei precipitati con la matrice. Rafforzamento mediante particelle indeformabili.

**BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento:

W. Kurz, J.P. Mercier, G. Zambelli, *Introduzione alla scienza dei materiali*, Hoepli, 1993.

Testi ausiliari:

J.C. Anderson, K.D. Leaver, R.D. Rawlings, J.M. Alexander, *Material science*, Chapman & Hall, 1991.

R.T. DeHoff, *Thermodynamics in material science*, McGraw-Hill, 1993.

ESAME. L'esame si struttura su tre domande orali aventi per oggetto gli argomenti svolti a lezione. Verrà valutato anche l'impegno dimostrato nell'esecuzione delle esercitazioni e nella stesura delle relative relazioni.

**E1710 Elettronica applicata**

Anno: periodo 3:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+3+1 (ore settimanali)

Docente: Maurizio Zamboni

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

REQUISITI. Sono propedeutiche le nozioni del corso di *Elettrotecnica*.

**PROGRAMMA**

Richiami di elettrotecnica. Partitore, equivalente di Thévenin e Norton. Calcolo simbolico. Trasformata di Laplace.

Funzione di rete. Stabilità. Piano di Bode. Decibel. Diagrammi di Bode del modulo e della fase di poli e zeri del primo ordine. Esempi di curva di risposta. Banda passante.

Definizione del doppio bipolo. Amplificatori ideali di tensione, corrente, transresistenza e transconduttanza. Cascata di doppi bipoli.

Risposta al transitorio di reti RC. *Tilt* e tempo di salita. Uso dell'onda quadra per lo studio degli amplificatori.

Introduzione ai semiconduttori. La giunzione *pn*. Caratteristica del diodo. Zona di *breakdown*. Diodo Zener.

Circuito del diodo per piccolo e grande segnale. Circuiti limitatori e formatori. Voltmetri di cresta. Raddrizzatori ad una e doppia semionda. Ponte di diodi. Regolatori con Zener.

Comportamento termico dei dispositivi. Transistore bipolare. Funzionamento in linearità, saturazione e interdizione. SOA.

Polarizzazione del transistore. Modello per piccolo segnale. Stadi CC e CE. Darlington. *Derive*. Amplificatori per alternata e continua.

Stadio differenziale. *Offset* e *derive*.  $V_{off}$ ,  $I_{bias}$  e  $I_{off}$ . Accenni ai JFET e MOSFET.

Operazionale. Modello per modo comune e differenziale. *Offset e derive*. Amplificatori di tensione e corrente. Effetti della non idealità di  $A_d$ . Impedenza di ingresso ed uscita.

Amplificatori di transresistenza e di tensione invertente. Sommatore, integratori e derivatori. Amplificatori di transconduttanza e di corrente. Reazione negativa. Stabilità nel dominio del tempo e della frequenza.

Studio della stabilità in sistemi reazionati. Margine di fase e di guadagno. Calcolo del guadagno. Compensazione a polo dominante e a polo-zero. Considerazione sugli operazionali commerciali.

Comparatori di soglia senza e con isteresi. Generatori di forme d'onda. Astabile, generatore di onda triangolare e sinusoidale.

Regolatori di tensione regolabili e fissi. Regolatori a tre terminali (78XX). Alimentatori *switching step-up, step-down e fly-back*.

Sistemi di acquisizione dati. Teorema del campionamento. Quantizzazione.

Convertitori DAC. DAC a resistenze pesate. DAC a rete R-2R, potenziometrici, a capacità commutate. Analisi degli errori.

Convertitori ADC. Caratteristiche ed errori. ADC ad inseguimento, ad approssimazioni successive, *flash*, a singola e doppia rampa.

*Sample and hold*. Caratteristiche ed errori. Circuiti con due operazionali.

Segnali logici. Livelli di tensione e di correnti. *Fan out*, compatibilità. Tempo di propagazione. Consumo. Logiche TTL e CMOS.

Stadi di uscita *totem-pole, open collector e three state*. Blocchi combinatori (MPX, ALU, *decoder, multiplier*). FF-SR. Circuiti sequenziali.

Circuiti sincroni. FF JK e D. Sincronizzazione ed orologio (*clock*). PET, NET, *latch*. Progetto di contatori, *shift*, macchine a stati.

(Memorie (ROM, RAM, PROM, EPROM, ...)).

## ESERCITAZIONI

Reti elettriche, funzioni di trasferimento.

Analisi del transitorio, risposta all'onda quadra.

Circuiti con diodi (limitatori, formatori, circuiti di protezione).

Circuiti con diodi Zener (regolatori).

Operazionali: lettura e commento delle caratteristiche.

Operazionali: *offset e derive*, dimensionamento dei componenti esterni.

Operazionali: circuiti base (amplificatori, sommatore, filtri).

Operazionali: circuiti non lineari (diodo ideale, raddrizzatori).

Generatori di forma d'onda.

Alimentatore stabilizzato 78xx.

Famiglie logiche (lettura caratteristiche, interfacciamento, progetto di circuiti elementari).

**LABORATORIO**

Uso di alcune apparecchiature elettroniche (oscilloscopio, generatore di segnale, alimentatore).

Comportamento di circuiti RC, rivelatori di cresta.

Circuiti con operazionali (amplificatori, sommatori, filtri).

Famiglie logiche (transcaratteristica, tempi di propagazione, interfacciamento).

**BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento:

Non esiste un testo che copra tutti gli argomenti del corso al livello richiesto.

Testi ausiliari:

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

E. Cuniberti [et al.], *Elettronica : componenti e tecniche circuitali*, Petrini, 1993.

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

ESAME. Prova scritta di 40 minuti relativa a semplici progetti usando le metodologie studiate ad esercitazione. Prova orale sulla teoria.

## **E 4680      Scienza e tecnologia dei materiali polimerici**

Anno: periodo 3:2    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 7+1 (ore settimanali); 91+13 (nell'intero periodo)

Docente: Aldo Priola

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.* [4 ore]

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

*Struttura e caratterizzazione delle macromolecole.* [20 ore]

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.* [22 ore]

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.* [15 ore]

Proprietà termiche: fenomeni di fusione e transizione vetrosa. Capacità termica, dilatazione, conducibilità. Proprietà meccaniche: rigidità, resistenza a trazione, al taglio, a compressione. Resilienza. Comportamento viscoelastico dei polimeri. Reologia dei

polimeri fusi. Equazione di WLF. Proprietà dinamo-meccaniche. Comportamento elastico delle gomme.

*Proprietà elettriche.* [5 ore]

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.* [5 ore]

Plasticanti, pigmenti, cariche, agenti rinforzanti: influenza sulle proprietà dei materiali. Additivi antiossidanti. Processi di invecchiamento dei polimeri. Reazioni di degradazione. Impiego di agenti stabilizzanti. Additivi antifiamma.

*Tecnologie di trasformazione.*

Polimeri termoplastici: tecnologie di iniezione, estrusione, calandratura, termoformatura; stampaggio rotazionale, spalmatura. [6 ore]

Polimeri termoindurenti: poliuretani, poliesteri insaturi, poliimmidi e altri tipi di resine. Tecnologie di trasformazione. Tecnologia delle gomme. Materiali polimerici espansi. Leghe polimeriche. Polimeri per vernici ed adesivi. Cenno ai compositi polimerici. [12 ore]

I polimeri e l'ambiente: tecnologie di riciclo dei materiali polimerici e smaltimento dei rifiuti plastici. [2 ore]

**ESERCITAZIONI**

Esercitazioni in aula con applicazioni di calcolo sugli argomenti di lezione.

Esercitazioni sperimentali di laboratorio con squadre a numero limitato di allievi, che riguarderanno la caratterizzazione dei materiali polimerici e la valutazione delle loro proprietà meccaniche fondamentali. Su alcune esercitazioni verrà richiesta la stesura di una breve relazione.

Sono previste visite ad impianti di trasformazione di materie plastiche.

**BIBLIOGRAFIA**

*Scienza e tecnologia delle macromolecole* / a cura dell'AIM. Vol. I e II, Pacini, Pisa, 1983.

D.W. Van Krevelen, *Properties of polymers*, Elsevier, Amsterdam, 1976.

L.E. Nielsen, *Mechanical properties of polymers and composites*, Dekker, New York, 1994.

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

## E 2060 **Fisica tecnica**

Anno: periodo 3:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 60+40+4 (nell'intero periodo)  
 Docente: Michele Cali Quaglia

Nella prima parte del corso si studiano i fondamenti e le definizioni della teoria della termodinamica elementare riferita ai corpi omogenei e si introducono il primo ed il secondo principio. Si studiano quindi in dettaglio dal punto di vista funzionale e fenomenologico i più importanti dispositivi di conversione energetica e le applicazioni fondamentali. Nella seconda parte del corso, dopo aver dato alcuni cenni di termodinamica dei corpi continui, si sviluppano le leggi fondamentali della trasmissione del calore per conduzione, convezione ed irraggiamento e si studiano i principali dispositivi termotecnici, come gli scambiatori di calore e i generatori di calore. Nell'ultima parte del corso si introducono i concetti fondamentali della illuminotecnica.

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

### PROGRAMMA

#### *Termodinamica.*

Scopo della termodinamica e cenni storici.

Definizioni (tempo, sistema, ambiente esterno, processo, stato termodinamico, spazio degli stati, linee di trasformazione, processi diretti ed inversi, processi ciclici).

Equazioni di stato.

La termometria.

Il lavoro in generale e nei sistemi aperti.

Il calore e la calorimetria.

Equazioni fondamentali; le trasformazioni adiabatiche.

Il primo principio della termodinamica.

Energia interna ed entalpia.

I sistemi aperti.

Il secondo principio.

Cenni storici.

Il rendimento delle macchine termiche.

Reversibilità, teorema di Carnot, temperatura assoluta, equazione di Clapeyron, entropia, rendimento massimo di un ciclo.

La funzione di accumulazione.

La formulazione generale ed il teorema della diseguaglianza di accumulazione.

La diseguaglianza di Planck.

Entropia.

Cenni di energetica.

Il teorema dell'energia utilizzabile o exergia e il rendimento generalizzato.

Relazioni analitiche della termodinamica.

Le trasformazioni fondamentali.

I potenziali termodinamici.

Le equazioni di Maxwell.

Le trasformazioni iso-energetica di Joule e iso-entalpica di Joule-Thompson.

Le equazioni di stato dei fluidi reali.

La legge degli stati corrispondenti.

I cambiamenti di stato.

Rappresentazioni e diagrammi termodinamici.

Le equazioni empiriche (Van der Waals, Dieterici, ecc.); equazione del viriale.

I fenomeni di attrito viscoso.

I cicli ideali dei motori a gas.

Cicli rigenerativi di Stirling e di Ericsson.  
 Cicli Otto, Diesel, Brayton e Joule.  
 I cicli dei motori a vapore.  
 I cicli termodinamici Rankine e Hirn e l'analisi del rendimento.  
 Le centrali termoelettriche.  
 Gli impianti di cogenerazione.  
 Le macchine operatrici.  
 Frigoriferi e pompe di calore.  
 Cicli inversi di Carnot.  
 Cicli a vapore semplici e multistadio.  
 Le macchine criogeniche.  
 Miscele di gas e sostanze condensabili.  
 Psicrometria.  
 Le trasformazioni delle macchine per la climatizzazione ambientale.

*Cenni di termodinamica dei sistemi continui.*

Definizioni e proprietà matematiche.  
 Le equazioni fondamentali di conservazione in forma differenziale ed integrale.  
 Massa, quantità di moto, energia ed entropia.

*Trasmissione del calore e termocinetica.*

La conduzione del calore.  
 Le equazioni fondamentali nello spazio tridimensionale.  
 Le proprietà termiche dei materiali.  
 La soluzione di problemi semplici con metodi analitici.  
 I metodi numerici: differenze finite, volumi di controllo, elementi finiti.  
 Applicazioni: le equazioni e l'efficienza delle alette.  
 Applicazioni: gli effetti termoelettrici (Seebeck, Peltier, Thomson).  
 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 forzata e naturale.  
 I metodi delle analogie.  
 Teoria dimensionale.  
 Le relazioni empiriche più comuni.  
 L'irraggiamento.  
 Definizioni.  
 Il corpo nero.  
 Le proprietà emissive della materia ed i corpi grigi; irraggiamento tra corpi neri e grigi.  
 L'utilizzazione dell'energia solare.

*Termotecnica.*

I camini.  
 Gli scambiatori di calore.  
 Cenni ai problemi della climatizzazione ambientale.  
 Gli impianti di riscaldamento e condizionamento.  
 La normativa vigente.

*Illuminotecnica.*

Grandezze energetiche e fotometriche.

La sensazione visiva.

Il triangolo dei colori.

Sorgenti luminose anaturali ed artificiali.

Calcoli di illuminamento da sorgenti puntiformi ed estese in superficie.

**ESERCITAZIONI**

Esercizi svolti in aula sui temi trattati a lezione e sviluppo di una monografia di termodinamica sul calcolo completo del ciclo termodinamici e del bilancio energetico di una centrale di cogenerazione a vapore con ciclo Rankine in contropressione. Sviluppo di una monografia di termocinetica sul calcolo fluidodinamico e termico di un generatore di vapore a tubi di fumo.

**LABORATORIO**

Misure di temperatura con diversi sensori.

Misura di grandezze psicrometriche in un ambiente.

Misura della portata di aria in un condotto.

**BIBLIOGRAFIA**

Testo di riferimento:

Appunti delle lezioni e materiale distribuito dal docente.

Testi ausiliari:

C. Boffa, P. Gregorio, *Elementi di fisica tecnica*, Levrotto e 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.

V.A. Kirillin, V.V. Sycev, E. Sejdlin, *Termodinamica tecnica*, Ed. Riuniti, Roma, 1980.

M.W. Zemansky, M.M. Abbott, H.C. Van Ness, *Fondamenti di termodinamica per ingegneri*, Zanichelli, Bologna.

**ESAME**

L'esame è costituito da un compito scritto, nel quale si chiede di svolgere esercizi numerici e di rispondere a semplici quesiti di teoria, e da un colloquio orale, durante il quale l'allievo è tenuto a presentare ed illustrare le monografie svolte durante le esercitazioni e a rispondere su argomenti di teoria.

## E 1441      **Dispositivi elettronici 1**

Anno: periodo 3:2    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 72+48 (nell'intero periodo)  
 Docente: Carlo Naldi

Il corso è il primo corso dell'albero di insegnamenti di elettronica applicata, con il compito di spiegare il funzionamento dei componenti. Il successivo corso di *Teoria dei circuiti elettronici* ne studierà l'inserimento nei circuiti attivi. Inoltre è l'insegnamento fondamentale per gli orientamenti rivolti verso i componenti e le tecnologie elettroniche.

Dopo un richiamo dei principi della fisica dei solidi, si derivano da questi le principali caratteristiche dei materiali dei semiconduttori. Successivamente vengono descritti i fondamentali dispositivi a semiconduttore dei sistemi elettronici. Vengono fornite nozioni di base sulla tecnologia dei circuiti integrati.

### PROGRAMMA

#### *Parte prima*

##### 1. *Cenni di fisica dei solidi.* [9 ore lezione+4 eserc.]

Equazione di Schrödinger; barriera di potenziale: effetto *tunnel*; struttura cristallina, legami covalenti; semiconduttori IV e III-V gruppo.

##### 2. *Fenomeni di trasporto.* [9+6]

Teoria delle bande di energia nei cristalli; fenomeni di generazione e ricombinazione; meccanismo della conduzione, massa efficace e fononi. Funzione distribuzione degli elettroni.

Resistori reali. Tecnologia del *film* sottile e del *film* spesso, circuiti ibridi.

##### 3. *Materiali magnetici.* [6+2]

Richiami su paramagnetismo, ferromagnetismo, ferrimagnetismo e antiferromagnetismo. Perdite per isteresi e per correnti parassite. Cenni su materiali magnetici dolci: leghe Fe-Si, Fe-Ni, ferriti.

Induttori reali: parametri parassiti. Nuclei compressi di materiali polverizzati (tecniche di progetto). Induttori con nucleo di ferrite. Magneti permanenti. Nastri magnetici.

##### 4. *Materiali dielettrici.* [6+0]

Richiami sulle proprietà dielettriche. Materiali ferroelettrici e piezoelettrici. Isolanti inorganici: mica, quarzo, zaffiro, ceramiche. Polimeri dielettrici: polietilene, polipropilene, poliolefine, resine poliviniliche, polistirolo, teflon e teflon "caricato", poliammidi. Resine epossidiche.

Condensatori reali: condensatori ceramici, condensatori elettrolitici e a tantalio condensatori a carta, a *film* plastico, a mica. Fibre ottiche.

##### 5. *Tecnologia dei circuiti integrati ibridi.* [6+0]

Circuiti stampati. Substrati per circuiti ibridi. Circuiti a *film* sottile: deposizione (evaporazione e *sputtering*) e fotolitografia, componenti passivi (condensatori e induttori). Circuiti a *film* spesso: serigrafia e vernici, taratura per *trimming*, resistori, interconnessioni (*bonding*). Circuiti integrati a microonde.

#### *Parte seconda.*

##### 6. *Teoria elementare dei semiconduttori.* [6+10]

Semiconduttore intrinseco e semiconduttori drogati; fenomeno di diffusione. Equazione di continuità.

### 7. Tecnologia dei circuiti integrati. [6+4]

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, di ossidi e di strati metallici. Cenni sulla tecnologia dell'arseniuro di gallio. Interconnessioni, *packaging* e *testing*. Resistori integrati.

### 8. Giunzione metallo - semiconduttore. [3+4]

Barriera di Schottky; capacità differenziale. Tecnica di misura  $C(V)$  dei profili di drogaggio; diodo Schottky e contatti ohmici.

### 9. Giunzione p-n. [5+7]

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*.

### 10. Transistore a effetto di campo a giunzione. [2+0]

#### 11. Transistore bipolare. [7+4]

Effetto transistore; regioni di funzionamento; modelli di Ebers-Moll e modelli SPICE. Effetto Early. Tempi di commutazione, modello a controllo di carica. Effetto della resistenza distribuita di base. *Breakdown* a valanga e perforazione diretta. Tecnologia dei transistori integrati: transistorore planare *npn*; transistorore parassita, transistori *pnp*. Modello di processo; transistorore Schottky e isolamento a ossido.

#### 12. MOSFET. [6+2]

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).

#### 13. Tecnologia VLSI. Ciclo di progetto dei circuiti integrati. [4+2]

Livelli di astrazione. Metodologie di progetto VLSI: *full custom*, *standard cell*, *gate array*. Tecniche di scalamento e limiti di integrazione. Interfaccia progettista - fabbrica: regole di progetto. Invertitori.

#### 14. Uso del simulatore di componenti SPICE presso il LAIB.

## BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Naldi, Piccinini, *Dispositivi elettronici*, CELID, 1995.

Masera, Naldi, Piccinini, *Introduzione all'analisi dei dispositivi a semiconduttore*, Hoepli, 1995.

*Tabelle e grafici dei materiali e componenti per l'elettronica*, CELID, 1995.

Testi ausiliari:

S.M. Sze, *Dispositivi a semiconduttore*, Hoepli, Milano.

R.S. Muller, T.L. Kamins, *Dispositivi elettronici*, 2. ed., Bollati-Boringhieri, Torino, 1993.

## ESAME

L'esame è relativo alle due parti in cui è diviso il corso. Usualmente (ma non necessariamente) vengono superate separatamente, soprattutto perché durante il corso si ha la possibilità di superare la prima parte con un esonero.

Il voto della prima parte fa media pesata con quello della seconda (pesi 1/3, 2/3)

Con i soli scritti si può superare l'esame con un massimo di 27/30; per voti superiori, su richiesta, vi è una prova orale sulla seconda parte.

E 4630

## Scienza e tecnologia dei materiali ceramici

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 85+10+10 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Ignazio Amato (collab.: Laura Montanaro)

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

**REQUISITI.** È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Chimica e di Tecnologia dei materiali e chimica applicata*.

### PROGRAMMA

#### *Scienza ceramici.* [9 ore]

I solidi: fondamenti teorici. L'ordine nei solidi. Cristalli e strutture cristalline. Solidi ionici e solidi covalenti: legami, strutture, proprietà. Solidi policristallini, microstrutture, ceramografia.

Comportamento superficiale dei solidi, energia superficiale, bagnabilità, capillarità, adsorbimento.

#### *Proprietà ceramici.* [7 ore]

Solidi duttili e solidi fragili. Le proprietà dei solidi. Comportamento meccanico dei ceramici e tenacità alla frattura. Correlazioni proprietà - microstruttura.

#### *Densificazione dei materiali ceramici.* [9 ore]

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. Sinterizzazione e ricristallizzazione.

#### *Tecnologia dei materiali ceramici.* [25 ore]

Le polveri ceramiche: caratteristiche. I processi di produzione di polveri industriali. I processi di produzione di polveri speciali: sol-gel, evaporazione ed estrazione solvente, reazione in fase vapore. Additivi di processo e meccanismo d'azione. Meccanica delle particelle e reologia. I processi di preparazione delle polveri prima della formatura: trasporto, macinazione, mescolamento, lavaggio, granulazione. I processi di formatura: pressatura, estrusione, colaggio. I processi di cottura: essicamento, presinterizzazione, sinterizzazione. Finitura e rivestimenti.

#### *Prodotti ceramici.* [25 ore]

Ceramici base ossido: allumina e zirconia. Ceramici base nitruro: nitruro alluminio, nitruro di silicio, nitruro di boro. Ceramici base carburi: carburo tungsteno, carburo titanio, carburo silicio. Ceramici base boruro: boruro di zirconio. Ceramici base siliciuri: siliciuri di molibdeno. Ceramici per sensori ed elettroliti solidi. Metallo-ceramici ed utensili da taglio. Vetro e vetro-ceramici. Diamante policristallino. I rinforzi ceramici: le fibre di nitruro di silicio, gli *whiskers* di carburo di silicio, le fibre di carbonio. Compositi ceramici e monocomposti ceramici.

**ESERCITAZIONI**

Analisi strutturale: calcolo della struttura di alcuni materiali ceramici. [3 ore]

Analisi microstrutturale: valutazione e calcolo microstruttura di alcuni materiali ceramici (grano medio, fattore di aspetto). [3 ore]

Determinazione proprietà meccaniche: modulo di Young, tenacità a frattura, flessione a tre punti, durezza Vickers e Knoop. Statistica di Weibull: esempi applicativi. [4 ore]

**LABORATORIO**

Le esercitazioni, con squadre a numero limitato di studenti, riguarderanno quanto segue:

Identificazione dei costituenti in una miscela di ossidi ceramici mediante diffrazione ai raggi X. [2 ore]

Le tecniche microscopiche: SEM, TEM, HRTEM, EDS, WDS. [2 ore]

Valutazione caratteristiche meccaniche ceramici. [2 ore]

Analisi granulometrica laser di polveri ceramiche. [2 ore]

Determinazione superficie specifica e porosità. [2 ore]

Analisi termotecniche e termofisiche (TGA, DTA, DSC, dilatometri). [2 ore]

**BIBLIOGRAFIA**

J.S. Reed, *Introduction to principles of ceramic processing*, Pergam, New York.

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

I. Amato, Monografie.

L. Montanaro, Monografie.

**ESAME**

Orale con presentazione relazioni scritte, svolte durante le lezioni, ed elaborazioni svolte durante le esercitazioni.

**E3110      Macchine**

Anno/periodo 4:1    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 78+52 (nell'intero periodo)

Docente: Matteo Andriano

Nel corso vengono esposti i principi termodinamici e fluidodinamici necessari ad una corretta comprensione del funzionamento delle macchine a fluido. Viene poi sviluppata l'analisi del funzionamento dei vari tipi di macchine (motrici ed operatrici) di più comune impiego, con l'approfondimento richiesto dall'obiettivo di preparare l'allievo ad essere, nella sua futura attività professionale, un utilizzatore attento ai vari aspetti, a quello energetico in particolare, sia nella scelta delle macchine, sia nel loro esercizio. A questo scopo viene dato lo spazio necessario ai problemi di scelta, di installazione, di regolazione, sia in sede di lezioni, sia in sede di esercitazioni, dove vengono esemplificate le necessarie calcolazioni. Nelle lezioni vengono sviluppati, i concetti, mentre nelle esercitazioni vengono eseguite applicazioni numeriche su casi concreti,

**REQUISITI**

Sono necessari i concetti di termodinamica contenuti nel corso di *Termodinamica dell'ingegneria chimica* o di *Fisica tecnica* (a seconda del corso di laurea), e di meccanica contenuti nel corso di *Elementi di meccanica teorica ed applicata*.

## PROGRAMMA

Introduzione. Considerazioni generali sulle macchine motrici ed operatrici a fluido. Classificazioni. Richiami di termodinamica. Le turbomacchine: principi fluidodinamici e termodinamici. Studio delle trasformazioni ideali e reali nei condotti. [10 ore]

Cicli e schemi di impianti a vapore semplici e rigenerativi, ricupero per produzione di energia e calore, ad accumulo. [6 ore]

Le turbine; le turbine a vapore semplici e multiple, assiali e radiali; regolazione; problemi meccanici e costruttivi tipici; le tenute. La condensazione. Possibilità e mezzi. Condensatori. [14 ore]

Compressori di gas. I turbocompressori; studio dei funzionamenti e diagrammi caratteristici. Problemi di installazione; regolazione. I ventilatori. [12 ore]

I compressori volumetrici alternativi e rotativi; studio del funzionamento; regolazione; campo di impiego. [8 ore]

Le turbine a gas. Cicli termodinamici semplici e complessi. Organizzazione meccanica e regolazione. [8 ore]

Le macchine idrauliche. Cenno alle turbine. Le pompe centrifughe. Campi di impiego. Caratteristiche di funzionamento; problemi di scelta e di installazione. La cavitazione. Le pompe volumetriche; campi di impiego; problemi di installazione. [8 ore]

I motori alternativi a combustione interna. Cicli termodinamici. Studio del funzionamento dei motori ad accensione comandata e ad accensione per compressione. La combustione. La dosatura. Le combustioni anomale; le caratteristiche dei combustibili. La regolazione. [12 ore]

## ESERCITAZIONI

Esercizi di richiamo dei concetti di termodinamica orientati problematiche delle macchine. Esempi di applicazione del Primo Principio alle trasformazioni di interesse.

Uso dei diagrammi termodinamici (Mollier); esercizi sugli ugelli condizioni subsoniche e in condizioni critiche con gas a vapore.

Bilanci di energia negli impianti a vapore, semplici, rigenerativi, a ricupero totale e parziale.

Esercizi sulle turbine assiali e radiali, semplici e multiple. Esercizi sulla regolazione degli impianti a vapore a condensazione ed a ricupero, e calcoli sui condensatori. Esercizi sui turbocompressori: utilizzazione dei concetti di similitudine; calcoli e scelte per la regolazione.

Esercizi sui compressori volumetrici alternativi e rotativi; calcoli e scelte per la regolazione.

Esercizi su cicli e impianti di turbine a gas: calcolo delle prestazioni in condizioni di progetto e di regolazione.

Esercizi sulle pompe: problemi di scelta, di installazione e di regolazione. Esempi di verifica delle condizioni di cavitazione (NPSH).

Esercizi sulle prestazioni dei motori a combustione interna; potenza e consumo specifico di vari tipi.

## BIBLIOGRAFIA

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

A. Capetti, *Compressori di gas*, Levrotto & Bella, Torino, 1970.

A. Beccari, *Macchine*, CLUT, Torino, 1980.

A.E. Catania, *Complementi ed esercizi di macchine*, Levrotto & Bella, Torino, 1979.

**ESAME**

L'esame consiste in una prova scritta della durata di circa 2,5 ore e di una prova orale di circa 50 minuti. Nella prova scritta, durante la quale possono essere tenuti e consultati testi o appunti, viene richiesto lo svolgimento di tre esercizi riguardanti argomenti vari del corso trattati anche nelle esercitazioni. Il risultato della prova scritta non preclude l'orale. La prova scritta viene effettuata nel giorno e ora previsto nel calendario ufficiale degli appelli.

**E 1530 Economia ed organizzazione aziendale**

Anno: periodo 4:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Giovanni Fraquelli (collab.: Elena Ragazzi)

La gestione di ogni attività di impresa, dai fatti squisitamente operativi alle scelte strategiche, risulta fortemente condizionata da valenze economiche. Il corso intende proporre concetti e tecniche di analisi utili al processo decisionale, attingendo ai riferimenti teorici dell'analisi microeconomica e a quelli tecnico-operativi derivanti dalla prassi aziendale. L'obiettivo è dunque quello di fornire una guida utile all'interpretazione dell'attività d'impresa tramite una molteplicità di strumenti di indagine resi disponibili dalle varie discipline economiche e aziendali.

**PROGRAMMA**

Differenti ottiche di studio dell'impresa.

Significato economico dell'attività d'impresa, costi impliciti e concetto di profitto.

L'utilizzo del bilancio a fini gestionali: analisi del conto economico, stato patrimoniale, flussi finanziari e determinazione degli indici di bilancio.

Teoria della produzione e analisi dei costi: dalla funzione di produzione neoclassica all'analisi empirica dei costi.

Relazione costi - volumi di produzione in presenza di uno o più prodotti.

Produttività e progresso tecnico: concetto di produttività e costruzione di indici di produttività tramite dati di bilancio.

Prezzi, produttività e volumi di produzione.

La valutazione degli investimenti industriali, tecniche di valutazione e costo del capitale.

Aspetti operativi connessi alla valutazione.

**ESERCITAZIONI**

Produzione e costi:

la produzione come combinazione di fattori;

la produzione come combinazione di processi.

*Break-even analysis* e decisioni operative:

impresa monoprodotto e prezzo di vendita costante;

impresa monoprodotto e prezzo sensibile alla quantità venduta;

funzione discontinue e un solo prodotto;

scelta del *mix* produttivo con prezzo di vendita costante;

scelta del *mix*: più prodotti e prezzo variabile in funzione della quantità venduta;

più prodotti e *mix* produttivo non specificato;

concorrenza fra due imprese (duopolio).

Analisi della produttività:

indicatori di produttività parziale,

indicatori di produttività globale.

Attività economica e ricadute finanziarie.

Decisioni di investimento.

**BIBLIOGRAFIA**

Testi di riferimento:

G. Fraquelli, *Elementi di economia manageriale : costi, produttività e decisioni di investimento*, CUSL, Torino, 1994.

G. Fraquelli, E. Ragazzi, *Elementi di economia manageriale : temi svolti*, CUSL, Torino, 1994.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

G. Zanetti, *Economia dell'impresa*, Il Mulino, Bologna, 1992.

G.J. Thuesen, W.J. Fabrick, *Economia per ingegneri*, Il Mulino, Bologna, 1994.

ESAME. Prova scritta e orale.

**E3180 Materiali metallici**

Anno/periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8 (ore settimanali)

Docente: Aurelio Burdese

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

**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 metallo-ceramici.

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.

## E3670 Misure elettroniche

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 72+40 (nell'intero periodo)  
 Docente: Ernesto Arri

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.

**LABORATORIO.** 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.

## E2740 Impianti metallurgici

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 70+40+10 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Mario Rosso

Il corso ha lo scopo di far conoscere gli impianti industriali per la produzione e la trasformazione dei materiali. Con il termine impianti non si intende la semplice tecnologia impiantistica con la descrizione, inframmezzata da formule, del macchinario impiegato nell'industria: il programma proposto ha orizzonti ben più ampi, e vuol dare all'allievo una visione il più possibile vicina alla realtà industriale nella quale sarà chiamato ad operare, considerando l'impianto situato in un determinato luogo. Viene analizzata l'attività industriale nel suo complessivo, con le esigenze di sviluppo organico, di qualità ed affidabilità. Avendo in considerazione le condizioni ambientali e di sicurezza, vengono forniti i criteri di progettazione, conduzione e gestione degli impianti stessi. Il programma, di carattere teorico-pratico, tiene conto del *curriculum* didattico seguito dagli studenti in Ingegneria dei materiali. Alcune visite a stabilimenti industriali meglio evidenzieranno gli argomenti studiati.

**REQUISITI.** È da considerarsi propedeutico il corso di *Fisica tecnica*.

### PROGRAMMA

*Disegno tecnico.* [4 ore]

Norme unificate, proiezioni e assonometrie, elementi di base di metrologia tecnologica. Sezioni, indicazione convenzionale dei materiali nelle sezioni. Scritturazioni nei disegni e sistemi di quotatura. Interpretazione di un disegno tecnico.

*Teoria e tecnologia del trasferimento di materia.* [16 ore]

Trasporto dei solidi, nastri trasportatori, coclee, elevatori a tazze, mezzi particolari, trasporto pneumatico e cicloni separatori. Alimentatori e chiusure di scarico. Sistemi di stoccaggio dei solidi, tramogge e *silos*. Macinazione: frantumazione, granitura e polverizzazione, frantoi e mulini. Vagliatura e tipi di vaglio. La mescolazione dei solidi e relativi impianti. Sistemi misti solido-liquido: classificazione e flottazione, processi e impianti. Decantazione, sedimentazione, filtrazione, centrifugazione. Impianti di distribuzione dei fluidi: tubazioni, giunti, raccordi, guarnizioni e valvole, loro montaggio e protezione. Serbatoi per lo stoccaggio dei fluidi. Essiccamento diretto ed indiretto, cenni di igrometria ed analisi del processo, impianti di essiccamento.

*Trasferimento del calore.* [14 ore]

Richiami ai meccanismi di conduzione, convezione ed irraggiamento. Combustibili ed analisi del processo di combustione. Forni industriali: funzionamento e classificazione. La trasmissione di calore in regime stazionario ed in regime variabile nel tempo.

Camini e tiraggio. Progettazione termotecnica. Perdite e recuperi di calore. Analisi dei forni industriali: elettrici, a combustibile, a muffola, in atmosfera controllata, forni sotto vuoto. Principali applicazioni: forni fusori, di elaborazione, di riscaldamento, di trattamento termico, di cottura e di sinterizzazione.

*Impianti di produzione e formatura.* [8 ore]

Impianti per la produzione di atmosfere controllate, per il rivestimento e la spruzzatura. Impianti per la formatura: stampaggio, laminazione, estrusione, rifusione a zone, colata, pressocolata, iniezione, *thixoforming* e *rheocasting*. Impianti per produzione, elaborazione e compattazione delle polveri. Presse isostatiche.

*Ingegneria ambientale.* [10 ore]

Protezione antincendio, classificazione e cinetica degli incendi, rivelatori, grado di pericolo, prevenzione ed estinzione. Polluzioni atmosferiche: polveri, fumi e odori. Normative, captazione ed aspirazione, impianti di depurazione ed abbattimento. Il corpo idrico e l'inquinamento: acque primarie e loro trattamento. Acque reflue: pretrattamenti, trattamenti primari, secondari e terziari. Raffreddamento dell'acqua. Trattamento dei fanghi. Rifiuti solidi: gestione e smaltimento. Inquinamento da rumore e da vibrazioni: normative, metodi di controllo, di riduzione e di protezione.

*Ingegneria industriale.* [12 ore]

Studi di fattibilità, concetti di ingegneria economica stati patrimoniali e ricerche di mercato. Fabbricati industriali e *plant-layout*. Caratteristiche dei fabbricati e criteri di scelta. Architettura industriale. Servizi generali e servizi ausiliari. Magazzini e modalità di immagazzinamento. Servomezzi: produzione e distribuzione dell'aria compressa, immagazzinamento e reti di distribuzione degli oli minerali, servomezzi gassosi. Impianti elettrici: normative e schemi di distribuzione. Impianti di illuminazione: efficacia, progettazione e manutenzione.

*Qualità e gestione.* [6 ore]

Logistica industriale, rete logistica e gestione di un sistema logistico. Tempistica ed intercorrelazione delle unità operative. Produttività e redditività degli investimenti impiantistici. Controllo qualità del processo. La manutenzione e le politiche di manutenzione, manutenzione preventiva.

## ESERCITAZIONI

Disegno: analisi di tavole rappresentative ed esecuzione di schizzi a mano libera.

Progettazione di impianti di trasporto per materiali solidi e di reti di distribuzione di fluidi. Criteri di scelta di: pompe per vuoto, per liquidi e per sospensioni, ventilatori e compressori.

Calcolo e progetto di un impianto di essiccazione. Teoria della combustione e calcoli relativi alla combustione. Progettazione di forni.

Analisi e discussione di *layout* di impianti industriali.

Le esercitazioni saranno completate da visite di istruzione a impianti industriali.

## BIBLIOGRAFIA

Dispense fornite dal docente.

A. Monte, *Elementi di impianti industriali. Vol. I e II*, Cortina, Torino.

ESAME. È prevista la discussione dell'esercitazione monografica relativa al progetto di un forno o di altro impianto, seguita da una prova orale.

## E 0940 Costruzione di macchine

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali); 74+46 (nell'intero periodo)

Docente: Graziano Curti

Il corso ha l'obiettivo di riprendere e approfondire gli argomenti della scienza delle costruzioni, con particolare riferimento a quelli che costituiscono il fondamento della progettazione delle macchine e dei loro componenti. In esso vengono presentati gli elementi tipici che influenzano il comportamento e la resistenza degli organi delle macchine come l'effetto d'intaglio, la fatica, lo scorrimento a caldo e lo smorzamento interno dei materiali. Di questi elementi vengono forniti i dati caratteristici (metodi, formule, diagrammi) che ne consentono l'applicazione pratica.

Vengono inoltre descritti e illustrati i principali organi delle macchine e i mezzi di collegamento e di accoppiamento. Il corso si propone in definitiva di fornire agli allievi le metodologie della progettazione delle macchine e dei relativi organi.

REQUISITI. *Scienza delle costruzioni, Meccanica applicata alle macchine.*

### PROGRAMMA

Ruote dentate. Ingranaggi. Caratteristiche geometriche, cinematiche, di taglio e di resistenza. [12 ore]

Cuscinetti. Tipi. Montaggio. [4 ore]

Ipotesi di rottura. Tensioni equivalenti. [6 ore]

La fatica dei materiali: descrizione, caratteristiche, diagrammi. Meccanica della frattura. [8 ore]

Effetto d'intaglio: definizione, diagrammi, dati numerici. [6 ore]

Scorrimento a caldo dei materiali e smorzamento interno. [6 ore]

Molle. Tipi. Calcoli. Applicazioni. [12 ore]

Giunti. Innessi. Collegamenti (viti, linguette, chiavette, accoppiamenti scanalati). [10 ore]

Teoria di Hertz: formule finali e applicazioni. [6 ore]

Vibrazioni e velocità critiche. [10 ore]

ESERCITAZIONI. Argomento dell'esercitazione è la progettazione di un gruppo meccanico, preferibilmente per centrale nucleare.

### BIBLIOGRAFIA

R. Giovannozzi, *Costruzione di macchine. Vol. I e II*, Pàtron, Bologna.

# Programmi degli insegnamenti

(insegnamenti d'orientamento)

I programmi sono riportati in ordine alfabetico di titolo. Al termine del volume (p. 89) le tavole alfabetiche generali, per nomi dei docenti e per titoli degli insegnamenti.

E0770

## Componenti e circuiti ottici

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8 (ore settimanali); 80 (nell'intero periodo)

Docente: Renato Orta

Questo corso mira a fornire una conoscenza di base delle varie tecniche impiegate per l'analisi e il progetto di componenti e sottosistemi usati nel campo delle comunicazioni ottiche. L'approccio è metodologico piuttosto che descrittivo e gli studenti dopo questo corso dovrebbero essere in grado di leggere la letteratura specialistica sull'argomento. Il corso tratta sia la propagazione libera che quella. Sono presentati i più importanti strumenti analitici e numerici per l'analisi di circuiti ottici.

### PROGRAMMA

#### 1. Introduzione. [2 ore]

Presentazione del corso, discussione della sua collocazione nell'ambito delle comunicazioni ottiche, panoramica storica dell'evoluzione del settore dall'ottica classica all'ottica moderna.

#### 2. Analisi modale di guide dielettriche. [8 ore]

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.

#### 3. Analisi di mezzi isotropi stratificati. [6 ore]

Analisi dei mezzi dielettrici isotropi stratificati con la tecnica delle linee modali vettoriali. Propagazione di un campo specificato su un'apertura.

#### 4. Diffrazione. [12 ore]

Approssimazione di Fresnel a partire dalle rappresentazioni spettrale e spaziale. Fasci gaussiani, propagazione e interazione con strutture dielettriche stratificate.

#### 5. Ottica geometrica e applicazioni. [10 ore]

Ottica geometrica, caustiche e teoria geometrica della diffrazione, lenti e specchi. Formalismo ABCD, guide a lenti.

#### 6. Guide dielettriche planari. [16 ore]

Guida dielettrica planare, analisi con risonanza trasversale. Modi guidati e irradiati, onde leaky. Eccitazione delle guide dielettriche: accoppiatori a prisma, reticoli.

#### 7. Risonatori e filtri. [6 ore]

Risonatori chiusi e aperti, definizione di Q, finesse, free spectral range. Interferometri Fabry-Perot con dielettrico passivo e attivo. Strati  $\lambda/4$  antiriflesso, o strati ad alta riflettività.

8. *Strutture periodiche.* [6 ore]

Strutture dielettriche stratificate periodiche, onde di Bloch e relative curve di dispersione. Riflettori di Bragg, birifrangenza di forma, teorema di Floquet. Reticoli di diffrazione.

9. *Metodi analitici e numerici per l'analisi di guide diffuse.* [10 ore]

Linee non uniformi per studio di guide planari diffuse. Metodi numerici: differenze finite, elementi finiti, metodo dei momenti. Metodi analitici: profilo lineare. Metodo WKB e "metodo della funzione di confronto". Guide dielettriche tridimensionali: metodo dell'indice di rifrazione efficace e *beam propagation method*.

10. *Dielettrici anisotropi.* [6 ore]

Mezzi anisotropi omogenei, superficie normale, ellissoide indice. Analisi di mezzi anisotropi stratificati, formalismo  $4 \times 4$ .

11. *Fibre ottiche.* [12 ore]

Fibre ottiche *step-index* e *graded index*. Fenomeni di dispersione e attenuazione nelle fibre. Fenomeni non lineari, automodulazione di fase, solitoni.

12. *Accoppiamento modale.* [4 ore]

Teoria dell'accoppiamento modale codirezionale e controdirezionale. Effetto elettro-ottico e acusto-ottico.

#### ESERCITAZIONI

Diffrazione di Fresnel e di Fraunhofer. Propagazione di fasci gaussiani. Analisi di guide dielettriche planari: determinazione dello spettro modale e delle relative configurazioni di campo. Risonatori. Strutture periodiche. Mezzi anisotropi. Fibre ottiche. Accoppiamento modale.

#### BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento: Appunti del docente.

Testi ausiliari:

B.E.A. Saleh, M.C. Teich, *Fundamentals of photonics*, Wiley, 1991.

D. Marcuse, *Light transmission optics*, Van Nostrand Reinhold, 1972.

## E0910 Corrosione e protezione dei materiali metallici

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+1 (ore settimanali); 70+14 (nell'intero periodo)

Docente: Mario Maja

Il corso viene sviluppato con l'intento di dare agli allievi ingegneri le basi necessarie per discutere i processi di deterioramento dei materiali metallici provocati dalla corrosione e per scegliere i metodi di protezione e prevenzione più idonei. Verranno discussi sia i processi di corrosione a umido, sia quelli di corrosione a secco e la corrosione per correnti impresse. Vengono inoltre discussi i criteri di scelta dei materiali metallici.

REQUISITI. È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nei corsi di *Chimica*, e *Metallurgia* (per gli studenti di Ingegneria chimica) o *Materiali metallici* (per gli studenti di Ingegneria dei materiali).

## PROGRAMMA

### *Introduzione.* [8 ore]

Corrosione ad umido ed a secco, reazioni caratteristiche, danni diretti ed indiretti, costi ed affidabilità, ambienti corrosivi, richiami sulle acque, curva di Tillman, il suolo come elettrolito, velocità della corrosione ed influenza del tempo.

### *Termodinamica elettrochimica.* [8 ore]

Richiami sugli elettroliti, i potenziali di elettrodo, gli elettrodi di riferimento, misura dei potenziali, diagrammi  $pH-V$  e loro lettura.

### *Cinetica elettrochimica.* [10 ore]

La polarizzazione degli elettrodi, le curve di polarizzazione, le sovratensioni (ohmica, di attivazione, di diffusione), la legge di Tafel, il comportamento dinamico di un elettrodo e metodi di analisi delle sovratensioni, i fenomeni anodici e la passività dei metalli.

### *La isopolarizzazione dei metalli.* [5 ore]

Le caratteristiche elettrochimiche delle principali reazioni che interessano la corrosione, il concetto di isopolarizzazione e di potenziale di corrosione, esempi pratici di sistemi reali.

### *Coppie galvaniche in CC.* [6 ore]

Contatto tra differenti metalli in acqua marina, esempi di coppie galvaniche in boiler, tubazioni e reattori, l'inversione delle coppie galvaniche (Fe-Sn e Fe-Zn), grafitizzazione delle ghise.

### *La morfologia della corrosione.* [12 ore]

Corrosione per vaiolatura, interstiziale, filiforme, intergranulare, sotto sforzo, per fatica, danneggiamento da idrogeno, corrosione atmosferica, biologica e nel suolo.

### *Materiali ed ambiente.* [5 ore]

Comportamento dei principali acciai e delle leghe di rame e di zinco alla corrosione marina ed atmosferica.

### *Prevenzione e protezione.* [6 ore]

Inibitori di corrosione (anodici e catodici), protezione catodica, rivestimenti metallici ed organici, criteri di progettazione.

### *Prove di corrosione.* [5 ore]

Prove in camere a nebbia salina, prove elettrochimiche.

### *La corrosione a secco.* [5 ore]

La teoria di Wagner, esempi caratteristici di ossidazione di metalli, corrosione lato fumi di caldaie e metodi di prevenzione.

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vengono svolte discutendo vari casi di corrosione raccolti nel corso degli anni dal laboratorio. Vengono altresì proiettate videocassette editate dalla National Association Corrosion Engineering e concernenti un corso di corrosione per ingegneri tenuto dalla associazione suddetta.

## BIBLIOGRAFIA

G. Bianchi, F. Mazza, *Corrosione e protezione dei metalli*, Masson.  
D.A. Jonnes, *Principles and prevention of corrosion*, McMillan.

## E-1442 Dispositivi elettronici 2

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 60+24+12 (nell'intero periodo)

Docente: Carlo Naldi

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

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.

## E1700 Elettrometallurgia

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+2 (ore settimanali); 56+28 (nell'intero periodo)  
 Docente: Bruno De Benedetti

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. Essendo un corso di tipo applicativo l'estensione degli argomenti potrà variare in modo significativo rispetto all'impegno previsto nel programma in dipendenza di opportuni aggiornamenti della tecnologia.

### 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. [10 ore]
2. Acciaiera elettrica: descrizione dei flussi energetici e di materiale. Potenza attiva e reattiva, diagramma circolare del forno elettrico. Condizioni di marcia dei forni ad arco: fusione della carica, scorfica, 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. [20 ore]
3. Impiego dei principali forni elettrici ad induzione in fonderia. Ghisa: fusione di rottame, omogeneizzazione delle leghe provenienti dal cubilotto. [6 ore]
4. Forni elettrolitici per la produzione di alluminio primario. Confronto energetico col ciclo di raffinazione dei rottami. [8 ore]
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. [12 ore]

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

### BIBLIOGRAFIA

- L. Di Stasi, *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.

ESAME. È previsto un solo accertamento finale tramite un colloquio orale. Il calendario viene stabilito in occasione di ogni appello in modo da favorire la massima flessibilità delle prove nel rispetto delle regole di Facoltà.

## E 1750 Elettronica dello stato solido

Anno: periodo 5:1  
 Docente: da nominare

[Testo del programma da "Guida 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 Monte-carlo.

Modelli idrodinamici: equazione di trasporto dell'energia e della quantità di moto. Modello non stazionario per il silicio. Modello non stazionario per il GaAs. Modelli a tre gas. Modelli a un gas di elettroni. Applicazioni a MOSFET, MESFET su GaAs, diodi Gunn.

*Eterostrutture:* struttura a bande di una eterostruttura; dispositivi a eterostruttura: HEMT, HBT.

*Effetti ottici nei semiconduttori*

Comportamento dielettrico dei materiali alle frequenze ottiche. Principi della generazione e ricombinazione, spontanea e stimolata.

Materiali per laser a semiconduttore: condizioni per effetto laser.

Effetto fotoelettronico e fotorivelatori. Effetto fotovoltaico.

*Cenni sulla simulazione dei processi*

## E 1994 Fisica delle superfici

(Corso ridotto)

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4 (ore settimanali)  
 Docente: Elena Tresso

Il corso si propone di fornire agli allievi una panoramica dei moderni problemi di fisica delle superfici, delle interfacce e dei processi di chemisorbimento. La fase di superficie

viene presentata come una fase ben distinta della materia e ne vengono analizzate le principali proprietà chimiche, strutturali, elettroniche e ottiche. Inoltre, dal punto di vista metodologico, si intende presentare una descrizione operativa di alcune tecniche sperimentali e teoriche di largo uso in fisica delle superfici, ma del tutto trasferibili in altri contesti.

REQUISITI. *Fisica I e 2, Struttura della materia.*

#### PROGRAMMA

Introduzione alla fisica delle superfici; le cause e le conseguenze di una sperimentazione in ultra alto vuoto (UHV); metodi per la preparazione di superfici "pulite"; tecnologia UHV. [6 ore]

Analisi chimica, individuazione delle specie atomiche superficiali con tecniche spettroscopiche (AES, SIMS). [4 ore]

Proprietà morfologiche e strutturali di superfici e interfacce; approccio termodinamico al problema delle superfici; tensione superficiale; rilassamento, ricostruzione e difetti; celle e reticoli bidimensionali; metodi di indagine dello spazio reciproco (LEED, RHEED) e dello spazio diretto (SEM, STM); modelli strutturali delle interfacce solido / solido. [10 ore]

Stati elettronici di superficie; teoria delle bande unidimensionale e tridimensionale; spettroscopia di fotoelettroni, metalli, semiconduttori covalenti e polari. [6 ore]

Struttura elettronica delle superfici covalenti Si(100), Si(110), Si(111) non ricostruite. Principi che regolano il fenomeno di rilassamento e ricostruzione, ruolo dei *dangling bonds*. Ricostruzioni Si(111) 2x1 e 7x7, Si(100) 2x1. *Screening* e trasferimento di carica nei semiconduttori polari. Struttura elettronica della superficie neutra GaAs(110), ideale e rilassata. Superfici polari ricostruite GaAs(100) e (111). [6 ore]

Proprietà ottiche: riflessione e rifrazione; eccitazioni elementari: eccitoni e plasmoni, fononi di superficie. [6 ore]

Assorbimento sulle superfici solide; fisisorbimento e chemisorbimento. Chemisorbimento di metalli su semiconduttori: la giunzione metallo-semiconduttore. Desorbimento, reazioni superficiali, catalisi e crescita cristallina. [6 ore]

Crescita di *film* sottili amorfi e microcristallini. [6 ore]

Sono previste visite a laboratori di ricerca attivi sia presso il Dipartimento di Fisica che presso altri.

#### BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

H. Luth, *Surfaces and interfaces physics*, Springer.

Testi ausiliari:

A. Zangwill, *Physics at surfaces*, Cambridge Univ. Press.

M. Prutton, *Surface physics*, Clarendon, Oxford.

ESAME. L' esame consiste in una prova orale, suddivisa in due parti: una lezione di 25-30 minuti su un argomento scelto dal candidato; alcune domande su argomenti svolti durante il corso.

## E 326 5      **Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica**

(Corso integrato)

Anno: periodo 5:1    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 80+40 (nell'intero periodo)

Docenti: Donato Firrao, Massimo Rossetto

Il corso si propone di fornire i concetti fondamentali e le principali applicazioni del comportamento meccanico dei materiali alle condizioni che portano alla frattura dei componenti strutturali sollecitati sia con carichi statici sia con carichi variabili. Vengono quindi affrontate le tematiche della meccanica della frattura e della fatica e sottolineati i possibili interventi progettuali sui componenti e sui materiali per evitare cedimenti in opera. Vengono inoltre analizzati vari metodi di controllo non distruttivo dei componenti.

REQUISITI. *Scienza delle costruzioni, Tecnologia dei materiali metallici.*

### PROGRAMMA

1. Richiami sullo stato di tensione e sulle ipotesi di rottura, modalità di cedimento dei materiali. [8 ore]
2. Fattori di concentrazione delle tensioni in campo elastico e in campo plastico. [8 ore]
3. Meccanica della frattura lineare elastica: approccio energetico, tasso di rilascio energetico ( $G$ ); descrizione di campo di tensione e di deformazione all'apice di una cricca; fattore di intensità delle tensioni; deformazioni plastiche all'apice di una cricca. [8 ore]
4. Prove di tenacità alla frattura secondo le normative, fattori che influenzano la tenacità alla frattura; tenacità alla frattura di diversi materiali anche in funzione dei trattamenti termici e alle tecnologie di produzione. Cenni al problema della tensio-corrosione. [8 ore]
5. Arrotondamento all'apice di una cricca (COD-CTOD), curve di resistenza (curve  $R$ ); integrale  $J$ ; cenni di meccanica della frattura elastoplastica. [8 ore]
6. Controlli non distruttivi e catalogazione dei difetti. [10 ore]
7. Fatica: approccio alla fatica con la meccanica della frattura; legge di Paris, il fenomeno del ritardo. Aspetti micro- e macroscopici della fatica. [8 ore]
8. Fatica ad alto numero di cicli: diagrammi SNP, metodi di determinazione delle curve di fatica, fattori che influenzano la vita a fatica, effetto degli intagli, effetto delle tensioni medie e diagrammi di fatica; fatica con carichi di ampiezza variabile: ipotesi di danneggiamento cumulativo. [12 ore]
9. Fatica oligociclica e approcci a due stadi: equazione di Manson Coffin. [4 ore]
10. Fatica multiassiale: approcci classici e approcci tipo piano critico. [4 ore]

### ESERCITAZIONI

1. Verifica statica di componenti. [4 ore]
2. Applicazioni della meccanica della frattura in campo statico. [4 ore]

3. Determinazione della tenacità alla frattura e dell'integrale  $J$  critico. [4 ore, parte in laboratorio]
4. Frattografia e morfologia delle fratture. [4 ore, parte in laboratorio]
5. Controlli non distruttivi. [2 ore, in laboratorio]
6. Applicazioni della legge di Paris. [4 ore]
7. Verifiche a fatica. [4 ore]

**BIBLIOGRAFIA.** Dispense parziali fornite dai docenti. Eventuali testi di approfondimento verranno segnalati dai docenti durante il corso.

## E 3880 Ottica

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+(2) (ore settimanali)

Docente: Elio Miraldi

Vengono approfonditi i principali elementi dell'ottica ondulatoria: interferometria, diffrattometria, polarizzazione, e gli aspetti quantistici dell'interazione luce-materia: effetto fotoelettrico e i fotorivelatori. Si descrivono i principali effetti fisici che stanno alla base del funzionamento di trasduttori, sensori e convertitori ottici. Lo studio delle proprietà ottiche dei materiali anisotropi, come ad esempio i cristalli liquidi, e lo studio dei principali mezzi di indagine in campo ottico, porterà lo studente a comprendere le più recenti applicazioni nella fisica dello stato condensato, svolte sia nel Dipartimento di Fisica sia in altri centri di ricerca.

**REQUISITI.** Il corso non richiede che la conoscenza delle leggi fondamentali già acquisite con i corsi di *Fisica 1 e 2*, oltre ad una familiarità con l'analisi di Fourier.

### PROGRAMMA

1. Interferenza. Propagazione e somma di onde sinusoidali: interferenza di due onde sferiche. L'esperimento di Fresnel-Arago. Localizzazione delle frange. Possibile estensione della sorgente. Sorgente quasi-monocromatica: *channeled spectrum*. La funzione *visibility*.
2. L'interferenza con lamine piane. Interferometro di Fizeau. Uso metrologico e localizzazione delle frange con lamine a cuneo. Possibile estensione della sorgente. L'interferometro di Michelson come schema di coerenza, tempo di coerenza. Calcolo della *visibility* per alcune tipiche distribuzioni spettrali. Relazione di reciprocità.
- 3; La Fourier Transform Spectroscopy e sue applicazioni pratiche. Misura della trasmittanza e della riflettanza di un materiale. L'assorbimento, la risonanza, la dispersione anomala. L'interferometro di Michelson come schema di eterodina ottico per la rivelazione di battimenti tra modi di un laser. Suo uso pratico per la stabilizzazione in frequenza di un laser.
4. Interferometria ad onde multiple. L'interferometro di Fabry e Perot. Lo studio di una cavità risonante con specchi piani e sferici. La diffrazione della luce. Il principio di Huygens-Fresnel. La lamina di Lummer e Gehrke, il reticolo di diffrazione. La teoria di Abbe della formazione delle immagini. L'olografia e l'interferometria olografica.

5. Polarizzabilità molecolare. Transizioni di dipolo elettrico. Smorzamento radiativo e raggio classico dell'elettrone. Teoria classica dell'indice di rifrazione: mezzi diluiti, mezzi condensati, campo locale. Relazione tra le parti reale e immaginaria della costante dielettrica: relazione di Kramers-Kronig. Diffusione della luce: *scattering* di Rayleigh e di Mie.

6. La polarizzazione delle onde luminose. Interferenza di onde polarizzate. Superfici d'onda in mezzi birfrangenti. Onde e raggi in cristalli uniassici. Le matrici di Jones. I vettori di Stokes. La sfera di Poincaré. Figure ortoscopiche e figure conoscopiche al microscopio polarizzatore. Effetti elettro-ottici, magneto-ottici e acusto-ottici e loro principali applicazioni.

7. Mesofasi, cristalli liquidi: loro classificazione. Transizioni di fase. Proprietà viscoso ed elastiche dei liquidi anisotropi: l'elasticità di curvatura. Principali tipi di celle a cristallo liquido. Trasmissione e riflettanza di una cella avente la direzione molecolare media distorta da campi elettrici e magnetici: la transizione di Fredericks. Cenni di dinamica dei cristalli liquidi nematici: tempi di risposta.

8. Quanti di luce. L'effetto fotoelettrico. Il foto-moltiplicatore per la rivelazione della luce. Risposta spettrale dei fotocatodi, efficienza di conversione, corrente buia. L'uso di fotomoltiplicatori in regime di funzionamento *single-photon*. I rivelatori a stato solido: fotodiodi, celle solari e Light Emitting Diode o laser a semiconduttore.

9. La radiazione elettromagnetica dal punto di vista fotometrico. Rapporto tra le grandezze integrali e spettrali radiometriche e fotometriche. L'unità di misura: candela, e le unità di misura derivate. Elementi di colorimetria secondo le norme CEI. Principali caratteristiche dell'occhio come strumento rivelatore di luce.

ESERCITAZIONI. Le esercitazioni vengono svolte il più possibile a ridosso delle lezioni e riguardano applicazioni sull'argomento svolto nelle lezioni stesse. Vengono svolte in alternativa ai laboratori.

#### LABORATORIO

Le esercitazioni di laboratorio vengono svolte presso laboratori di ricerca sia presso il Dipartimento di Fisica che presso altri centri di ricerca come: CSELT, CNR, IEN "G. Ferraris", CR FIAT. Presso i laboratori del Dipartimento si possono seguire ad esempio ricerche sui *film* sottili mediante l'analisi di spettri di trasmissione, analisi di rumore nella luce diffusa da cristalli liquidi, dilatometria con interferometro Fizeau. Presso gli altri centri di ricerca si eseguono visite per stabilire contatti su argomenti concordati di volta in volta, riguardanti applicazioni specifiche della materia svolta.

#### BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento:

Bruno Rossi, *Ottica*, Masson, 1988.

G.S. Landsberg, *Ottica. Vol. 1 e 2*, Mir, Mosca, 1980.

G. Rigault, *Elementi di ottica cristallografica*, Levrotto & Bella, Torino, 1965.

Testi ausiliari:

M. Born, E. Wolf, *Principles of optics*, Pergamon, Oxford, 1985.

K. Iizuka, *Engineering optics*, Springer, 1985.

ESAME. L'esame consta di una prova scritta, riguardante un argomento specifico trattato al corso, svolta dallo studente sotto la forma di una tesina, descritta, commentata e corredata di argomentazioni più generali in sede di esame orale.

## E 3950 **Plasticità e lavorazione per deformazione plastica**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 52+52 (nell'intero periodo)  
 Docente: Giovanni Perotti

Il corso si prefigge l'intento di fornire competenze nell'ambito delle tecnologie di deformazione plastica dei metalli. A questo scopo si forniscono indicazioni sulla teoria elementare della plasticità, introducendo tensioni e deformazioni puntuali, i criteri di plasticizzazione, i modi per risolvere i problemi di formatura. Successivamente si analizzano le diverse lavorazioni alla luce di quanto sopra detto, e si evidenziano le caratteristiche tipiche di ogni lavorazione esaminata.

**REQUISITI.** Conoscenze di meccanica, tecnologia meccanica, materiali.

### PROGRAMMA

#### 1. *Cenni introduttivi*

Cenni storici sulle lavorazioni per deformazione plastica, concatenazione tecnologica dei prodotti. [2 ore]

Meccanismi della deformazione plastica, dislocazioni. [2 ore]

#### 2. *Analisi elementare della plasticità*

Tensori delle tensioni, autovalori ed autovettori. [3 ore]

Tensori delle deformazioni e delle velocità di deformazione. [2 ore]

Criteri di plasticizzazione. [2 ore]

Lavorazioni innovative. [1 ora]

Relazioni analitiche fra tensioni, deformazioni e velocità di deformazione, curve di plasticizzazione dei materiali. [2 ore]

#### 3. *Metodi per la soluzione di problemi di formatura*

Uso di equazioni di plasticità e di equilibrio; metodi del lavoro uniforme, della sezione, dei piani di discontinuità. [2 ore]

Metodi ai limiti, metodo delle linee di scorrimento, cenno sul metodo agli elementi finiti. [4 ore]

#### 4. *Tecnologie di lavorazione per deformazione plastica*

##### 4.1 *Fucinatura, stampaggio massivo, estrusione*

Fucinatura, stampaggio a caldo e semicaldo, modalità operative. [2 ore]

Calcolo dei lavori e delle forze necessari, condizioni di attrito. [2 ore]

Macchine ed utensili per fucinare e stampare. [4 ore]

Estrusione a caldo ed a freddo, modalità operative, calcolo delle forze e dei lavori con diversi metodi. [6 ore]

##### 4.2 *Laminazione*

Laminazione piana a caldo ed a freddo, calcolo delle forze valutazione dell'attrito, e dell'allargamento. [6 ore]

Laminazione in calibri. [4 ore]

Cilindri di laminazione, materiali; disposizioni. [3 ore]

Treni di laminazione. [2 ore]

##### 4.3 *Produzione dei tubi*. [2 ore]

##### 4.4 *Trafilatura di barre e fili*. [2 ore]

##### 4.5 *Operazioni sulle lamiere*

Tranciatura a profilo aperto e chiuso. [2 ore]

Modalità operative dell'imbutitura e dello stampaggio delle lamiere, determinazione degli sviluppi piani necessari, del numero di passaggi, delle forze. [4-6 ore]

Macchine, stampi di imbutitura; processi di simulazione nella progettazione degli stampi. [3 ore]

Piegatura. [1 ora]

#### ESERCITAZIONI

In aula:

Calcoli di forze e lavori in operazioni di ricalcatura, stampaggio massivo, laminazione, imbutitura, estrusione, tracciamento delle caratteristiche di una pressa meccanica.

Progettazione elementare di attrezzo per estrusione a freddo.

Uso di programmi per il calcolo di sequenze di calibri in laminazione, e di sequenze di forme di imbutitura della lamiera.

In laboratorio:

Esecuzione di operazioni di ricalcatura, di laminazione a freddo, di imbutitura, di piegatura, esame di pezzi deformati a caldo, a tiepido, a freddo.

Rilevamento con strumenti ottici delle deformazioni permanenti su particolari estrusi.

All'esterno:

Visite di studio presso stabilimenti dell'area torinese presso i quali si attuano tecnologie di deformazione dei metalli.

#### BIBLIOGRAFIA

Dispensa del docente.

Tschatsch, *Manuale delle lavorazioni per deformazione*, Tecniche Nuove, Milano.

Spur, *Enciclopedia delle lavorazioni meccaniche. Vol. 2 e 5*, Tecniche Nuove, Milano.

ESAME. Gli esami si svolgono in forma di esame orale tradizionale. Si richiede allo studente di portare il dossier delle esercitazioni svolte.

## E 4050 **Processi di produzione dei materiali macromolecolari**

Anno/periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+1 (ore settimanali); 70+12 (nell'intero periodo)

Docente: Giuseppe Gozzelino

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 di processi per la produzione delle macromolecole costitutive le materie plastiche, gli elastomeri e i materiali termoindurenti. Sono inoltre prese in considerazione le proprietà fondamentali e le caratteristiche di impiego dei materiali macromolecolari ottenuti nei processi industriali e le tecnologie di trasformazione nei prodotti finali di consumo.

REQUISITI. Il corso può essere seguito agevolmente se si hanno le conoscenze di base di chimica organica e di chimica industriale.

#### PROGRAMMA

*Generalità sulle macromolecole.* [10 ore]

Classificazione, strutture, proprietà, settori applicativi. Pesi molecolari medi dalle proprietà di soluzioni polimeriche. Tecniche strumentali per la misura della distribuzione dei pesi molecolari.

*Polimeri da poliaddizione radicalica.* [12 ore]

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 polimerizzazione a stadi.* [6 ore]

Monomeri, catalizzatori, variabili di processo e grado di polimerizzazione, distribuzione dei pesi molecolari. Produzione industriale di poliammidi e poliesteri.

*Polimeri da poliaddizione ionica.* [4 ore]

Iniziatori ionici. Caratteristiche dei processi a propagazione cationica e anionica. Polimerizzazione stereospecifica.

*Produzione di commodities polimeriche.* [6 ore]

Polietilene a alta e bassa densità, polipropilene, polistirene, polivinil cloruro.

*Polimeri da copolimerizzazione.* [4 ore]

Modelli di copolimerizzazione. Composizione del polimero e reattività dei monomeri. Rapporti di reattività e loro valutazione. Copolimeri di interesse industriale.

*Produzione di materiali elastomerici.* [2 ore]

Monomeri. Tecnologie di polimerizzazione e di vulcanizzazione.

*Resine termoindurenti.* [6 ore]

Poliestere insature, epossidiche, fenoliche, amminiche, poliuretaniche. Applicazioni e tecnologie di produzione.

*Proprietà dei polimeri.* [6 ore]

Reologia delle soluzioni e dei fusi polimerici. Comportamento elastico e viscoso. Viscoelasticità. Densità di energia coesiva. Proprietà meccaniche dei polimeri in massa. Influenza della temperatura sulle proprietà. Degradazione. Invecchiamento. Miscele polimeriche.

*Caratterizzazione dei polimeri.* [4 ore]

Principali tecniche strumentali per la caratterizzazione chimica e fisica dei polimeri.

*Tecnologie di trasformazione dei termoplasti.* [6 ore]

Additivi e tecniche di miscelazione. Estrusione. Tecniche di stampaggio. Tecniche di filatura. Influenza della lavorazione sulle proprietà.

*Materiali compositi a matrice polimerica.* [4 ore]

Matrici e fibre per compositi. Cenni di micromeccanica dei compositi. Tecnologie di produzione.

**ESERCITAZIONI**

Gli studenti, divisi in gruppi, partecipano a sperimentazioni che hanno per oggetto reazioni di polimerizzazione, caratterizzazione chimica dei polimeri e prove sul comportamento meccanico di alcune classi di materiali polimerici utilizzando sia apparecchiature di uso didattico che apparecchiature dedicate alla ricerca. Visita a stabilimenti produttivi che effettuano produzione o trasformazione di materiali plastici.

**BIBLIOGRAFIA**

AIM, *Macromolecole : scienza e tecnologia. Vol. I*, Pacini, Pisa, 1992.  
Appunti delle lezioni forniti dal docente.

## E4080 Processi industriali della chimica fine

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali); 64+14 (nell'intero periodo)

Docente: Franco Ferrero (collab.: Roberta Bongiovanni)

Il corso sviluppa argomenti specialistici della chimica industriale organica. Data la vastità ed eterogeneità dei processi della chimica fine, gli argomenti scelti sono stati raggruppati in tre tematiche di base: polimeri per usi speciali, chimica dei processi interfase, chimica del colore e fotochimica. Si intende così evitare una eccessiva frammentazione degli argomenti e una trattazione prevalentemente descrittiva. Gli aspetti applicativi si concretizzano nelle esercitazioni di laboratorio, in cui gli allievi in piccoli gruppi hanno la possibilità di venire a conoscenza di metodiche strumentali utilizzate nel controllo analitico di alcuni processi e prodotti speciali.

**REQUISITI.** È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati in: *Chimica 1 e 2, Chimica organica e Chimica industriale I.*

### PROGRAMMA

#### *Polimeri per usi speciali*

Fibre chimiche: terminologia e classificazione; polimeri fibrosi: struttura organochimica macromolecolare e supermolecolare; modelli strutturali, relazioni struttura – proprietà; proprietà morfologiche, meccaniche e fisiche in genere; proprietà chimiche: assorbimento di acqua rigonfiamento, tingibilità, resistenza ad agenti chimici, alla fotodegradazione; comportamento termico: transizioni 1. e 2. ordine, relazioni con la struttura; metodi di analisi termica e applicazioni alle fibre; reazione al fuoco: autoestinguenza e ignifugazione. [12 ore]

Principi della filatura chimica: filabilità, filiere, processi da fuso, a secco, ad umido.

Fibre artificiali: cellulosa, processo viscosa e fibre modali, filo cupro, acetato e triacetato.

Fibre sintetiche: monomeri, polimerizzazione, filatura di: poliammidi, poliestere, acriliche, cloroviniliche, poliolefiniche, fibre elastomeriche.

Fibre tecniche, tessuti non-tessuti, geotessili. [12 ore]

#### *Chimica dei processi interfase*

Esempi: processi di nobilitazione tessile e funzione degli ausiliari; tensione superficiale e lavoro di adesione; proprietà dei tensioattivi: potere imbibente, idrorepellenza, potere detergente, schiume; comportamento dei tensioattivi in soluzione acquosa: potere emulsionante, HLB, *c.m.c.*; classificazione e processi di produzione dei tensioattivi. Sbiancanti, detergenti e sequestranti. Sistemi colloidali e loro applicazione a processi industriali: flocculazione, polielettroliti e polimeri per il trattamento delle acque; processi di scambio ionico; catalisi in trasferimento di fase. [16 ore]

#### *Chimica del colore e processi fotochimici*

Principi della colorimetria industriale: illuminanti *standard*, meccanismo della percezione visiva dei colori, colorimetria di trasmissione, classificazione dei colori, sistema tristimolo, spazi di colore, metameria, colorimetria di riflessione, spettrofotometri, applicazioni. [6 ore]

Coloranti: relazioni tra colore e struttura, proprietà applicative, solidità delle tinture, classificazione tintoriale e chimica, fluorescenza e candeggianti ottici; principi della tecnologia della tintura e chimico-fisica dei processi tintoriali: fenomeni diffusivi, fattore idrodinamico, cinetica e termodinamica; principali processi tintoriali. [10 ore]

Processi fotografici e di fotoriproduzione; principi della stampa grafica e tessile; processi fotochimici. [8 ore]

#### LABORATORIO

Analisi termica di materiali polimerici. [3 ore]

Spettrofotometria FT-IR di materiali polimerici. [2 ore]

Gascromatografia di solventi e monomeri. [3 ore]

Misura della tensione superficiale e della *c.m.c.* di tensioattivi con la bilancia di Cahn. [2 ore]

Flocculazione di sospensioni. [2 ore]

Colorimetria di trasmissione e spettrofotometria UV-VIS di coloranti. [2 ore]

#### BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento:

Dispense monografiche a cura del docente.

Testi ausiliari:

H. Zollinger, *Color chemistry*, VCH, 1992.

#### ESAME

L'esame consiste in una prova orale, nel corso della quale possono venire discussi anche i risultati delle esperienze di laboratorio presentati in forma di relazioni scritte.

## E 4370 Proprietà termofisiche dei materiali

Anno: periodo 5/2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali); 60+40 (nell'intero periodo)

Docente: Giuseppe Ruscica

Il corso si propone di dare all'allievo gli elementi per una conoscenza approfondita dei meccanismi di trasporto di massa e di energia nei materiali in funzione delle loro caratteristiche intrinseche (es. struttura cristallina, amorfa, composita ecc.), e quindi di individuare e definire le relazioni tra le proprietà microscopiche e le proprietà termofisiche che li caratterizzano. Contemporaneamente, per ogni singolo argomento viene dato un quadro generale delle varie metodologie di misura, ed alcune di esse vengono sviluppate ed applicate con esercitazioni di laboratorio.

REQUISITI. È propedeutica la conoscenza delle nozioni acquisite nei corsi di *Fisica tecnica* e di *Struttura della materia*.

#### PROGRAMMA

1. *Richiami di trasmissione del calore.* [2 ore]

Trasmissione del calore per conduzione.

Equazione di Fourier e definizione di conduttività termica.

Conduzione mono- e pruridimensionale nei solidi.

Tensore delle conduttività.

Definizione degli assi principali e dell'ellissoide di conduzione.

2. *Cenni sulla teoria della conduttività termica nei fluidi.* [2 ore]

Relazioni tra conduttività termica e altri coefficienti di trasporto.

Forze e potenziali intermolecolari. Equazione di bilancio dell'energia totale in termini statistici.

Funzioni di distribuzione ed equazione di Liouville–Boltzmann.

3. *La conduzione termica nei gas.* [2 ore]

Applicazione della teoria cinetica dei gas.

Gas diluiti. Potenziale di Lennard-Jonnes.

Modello di Enskog e Chapman per gas monoatomici.

Molecole poliatomiche. Modello di Pidduck. Approssimazione di Eucken.

Gas densi. Teoria di Enskog. Modello di Longuet-Higgins.

4. *La conduzione termica nei liquidi.* [2 ore]

Modello di Horrocks e McLaughlin.

Modello di Rice e Kirkwood.

Principio degli stati corrispondenti.

5. *Teoria fenomenologica della conduzione termica nei solidi.* [8 ore]

Conduzione Elettronica. Rapporto di Lorenz e legge di Wiedemann–Franz.

Conduzione fononica. Onde reticolari. Approssimazione di Einstein. Approssimazione di Debye.

Processi di interazione e di *scattering*. Interazione anarmonica di fononi. *Scattering* di fononi e *scattering* di elettroni.

6. *Conduzione termica nei materiali metallici.* [2 ore]

Conduktività termica elettronica.

Conduktività termica fononica.

Resistività termica intrinseca e resistività termica residua.

La conduttività termica dei metalli reali.

7. *Conduzione termica nei materiali non metallici.* [4 ore]

Conduktività del reticolo.

Comportamento ad alta temperatura.

Comportamento a bassa temperatura.

*Boundary resistance*. Imperfezioni reticolari.

Semi-metalli, semiconduttori, solidi amorfi.

Materiali porosi. Contributo fotonico.

Effetto della pressione. Cenni sulla conduttività reticolare nelle leghe.

8. *La radiazione termica nei materiali semitrasparenti.* [6 ore]

Richiami sulle definizioni e leggi fondamentali di propagazione della radiazione

Richiami sulla radiazione attraverso un mezzo grigio e trasparente.

Definizione di mezzo semitrasparente e delle sue proprietà di trasporto.

*Scattering*: funzione di fase e cenni sulla teoria di Mie e di Rayleigh.

Equazione del trasporto radiativo per un mezzo assorbente, emittente e scatterante.

Casi limite: mezzo otticamente spesso e sottile.

Equilibrio radiativo. Approssimazione di Rosseland.

9. *Trasmissione per radiazione e conduzione in matrici porose.* [2 ore]

Trasmissione combinata di radiazione e conduzione. Soluzioni semplificate dell'equazione integro-differenziale dell'energia.

Parametri caratteristici del trasporto combinato. Caso dei materiali isolanti e dei TBC (Thermal Barrier Coating) per temperature elevate.

10. *Effetto delle temperature criogeniche sulle proprietà termofisiche.* [8 ore]

Effetti sulle proprietà meccaniche, termiche, elettriche e magnetiche.

Cenni sulla superconduttività.

Superconduttori di tipo I, II e III.

Temperatura di transizione, resistenza elettrica, persistent current, effetto Meissner. Teoria di London. Quantizzazione del flusso, *gap* di energia, interazione fonone – elettrone e coppie di Cooper.

Cenni sulla teoria BCS. Stabilità e *quench*.

Parametri ingegneristici di rilievo e relativi metodi di misura.

Cenni ai superconduttori HTSC. Applicazioni.

11. *Teoria della diffusione dei gas in matrici metalliche.* [6 ore]

Classificazione e caratteristiche generali delle interazioni gas metallo. Adsorbimento fisico. Chemisorzione. Assorbimento.

Interazione H<sub>2</sub> – metallo. Cenni alle teorie dell'orbitale molecolare e delle bande e legami di superficie.

Adsorbimento di molecole ed atomi. Processi superficiali. Calori di adsorbimento.

12. *Diffusione nei metalli e principali effetti diffusivi.* [6 ore]

Modello classico, I e II legge di Fick, Cenni alle soluzioni della seconda legge Meccanismo delle vacanze. Meccanismo interstiziale. Meccanismo a catena. Effetto Soret.

Solubilità, legge di Sievert, legge di Henry, influenza della temperatura, legge di Arrhenius, metodi di misura ed esempi di installazioni sperimentali.

Teoria del *trapping*. Diffusione di idrogeno, deuterio e trizio in mono cristalli di Ni e Cu. Effetto dei gas disciolti sulle caratteristiche elettriche dei metalli.

13. *Teoria della dilatazione termica.* [4 ore]

Coefficienti di dilatazione cubica e lineare.

Capacità termica a pressione e a volume costante. Compressibilità isoterma ed isoentropica.

Determinazione quantica delle proprietà termofisiche di un cristallo. Cristalli metallici e cristalli non metallici.

Relazione di Gruneisen.

14. *La dilatazione termica nei solidi.* [4 ore]

Non metalli per temperature maggiori della temperatura di Debye.

Non metalli per temperature minori della temperatura di Debye.

Metalli per temperature maggiori della temperatura di Debye.

Metalli per temperature maggiori della temperatura di Debye.

Quarzo e silicati.

Materiali compositi in fibra di carbonio.

15. *Cenni sull'effetto del vapor d'acqua sui materiali in fibra.* [2 ore]

Dilatazione massica lineare e cubica.

*Swelling*.

LABORATORIO

Tecniche di misura della conduttività e delle diffusività termica. Misura della diffusività termica col metodo *flash*. Analisi dei risultati. [6 ore]

Tecniche di misura delle proprietà radiative superficiali. Misure spettrali della riflettività e del coefficiente di assorbimento monocromatico di superfici metalliche e di vernici. Analisi dei risultati. [6 ore]

Misure della riflettività e del coefficiente di assorbimento totale direzionale di superfici metalliche e di vernici. [4 ore] Analisi dei risultati. [4 ore]

Tecniche di misura delle proprietà termottiche dei materiali semitrasparenti. Misure del coefficiente di estinzione e della trasmisività di materiali porosi. Analisi dei risultati.

[4 ore]

Misura delle conduttività col metodo della lastra piana su materiali isolanti in regime stazionario. Analisi dei risultati. [4 ore]

Teoria dei problemi inversi e stima dei parametri. Applicazione alla misura delle conduttività con metodi transitori su materiali isolanti. [6 ore]

Tecniche di misura del coefficiente di dilatazione dalla temperatura ambiente a temperature criogeniche. Misure capacitive e interferometriche su campioni metallici.

Analisi dei risultati. [8 ore]

Tecniche di misura del capacità termiche dei materiali. [2 ore]

Sono previste visite ai laboratori del CNR, Istituto Metrologico "G. Colonnetti" e IEN "Galileo Ferraris".

#### BIBLIOGRAFIA

Appunti delle lezioni e materiale didattico fornito durante il corso.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

W.Z. Kresin, S.A. Wolf, *Fundamentals of superconductivity*, 1982.

E.M. Savitskii, *Superconducting materials*, Plenum, 1973.

E.M. Sparrow, R.D. Cess, *Radiation heat transfer*, McGraw-Hill, 1978.

Sherwmon, *Diffusion in solids*, McGraw-Hill, 1963.

R.P. Tye, *Thermal conductivity. Vol. I, II*, Academic Press, 1979.

R. Zemansky, *Calore e termodinamica*, Zanichelli, Bologna.

#### ESAME

Gli argomenti di esame corrispondono a tutto il programma svolto compresi quelli operativi affrontati nelle esercitazioni di laboratorio.

L'esame si svolge in un'unica fase e consiste nella discussione delle relazioni inerenti i risultati sperimentali delle misure di laboratorio. Durante la discussione vengono poste tre / quattro domande di carattere teorico generale sui temi trattati a lezione. La durata complessiva dell'esame è compresa fra 45 e 60 minuti.

Il voto finale è basato su un giudizio complessivo sia sull'attività svolta durante l'anno sia sui risultati del colloquio finale, badando più agli aspetti concettuali che all'apprendimento mnemonico.

E 4640

## Scienza e tecnologia dei materiali compositi

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali); 78+26 (nell'intero periodo)

Docente: Francesco Marino

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

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, whiskers, 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 4660      Scienza e tecnologia dei materiali elettrici**

Anno: periodo 5:1    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali); 84 (nell'intero periodo)

Docente: Daniele Mazza

Richiamando i concetti fondamentali della fisica e della chimica dello stato solido, il corso si prefigge lo scopo di correlare la struttura dei materiali con le loro proprietà elettriche, magnetiche, termiche e meccaniche. I materiali di interesse per le tecnologie elettriche vengono classificati in funzione delle loro caratteristiche di impiego nei settori specifici, mentre vengono fornite le nozioni di base sulle tecnologie di produzione di elementi, leghe e composti da utilizzare nelle varie realizzazioni.

**PROGRAMMA***1. La struttura dell'atomo.*

Atomo e particelle elementari. Orbite stazionarie, quantizzazione dell'energia e del momento angolare. Correlazione tra momento magnetico e momento angolare.

*2. Lo stato solido.*

Il legame chimico. Tipologia dei legami chimici. La struttura dei materiali. I solidi cristallini e lo stato amorfo. Caratteristiche delle sostanze cristalline. Struttura reticolare e cella elementare. Reticoli cristallini a simmetria cubica. I cristalli metallici e gli impaccamenti compatti. I cristalli ionici e l'energia reticolare. Strutture di ossidi ed alogenuri. Strutture di cristalli covalenti.

*3. Caratteristiche meccaniche dei materiali.*

Sforzo e deformazione. Il modulo di elasticità. Meccanismi di deformazione e slittamento. I grani cristallini. Le soluzioni solide. Strutture a più fasi e diagrammi di stato. Proprietà meccaniche dei materiali ceramici. Proprietà meccaniche dei polimeri.

#### 4. Elementi di teoria delle bande nei solidi

I solidi metallici. I solidi covalenti. I solidi ionici.

#### 5. La conduzione elettrica nei metalli.

La conduzione secondo un semplice modello. Conduzione e struttura a bande. Elementi di conduzione secondo la fisica quantistica. Distribuzione di energia degli elettroni. La resistività elettrica nei conduttori. La resistività elettrica nei solidi polifasici. Materiali usati come resistori elettrici. La resistività elettrica nei solidi ionici. Emissione di elettroni dai materiali.

#### 6. La conduzione elettrica nei semiconduttori.

Natura strutturale dei semiconduttori. Semiconduttori estrinseci. Mobilità dei portatori. Portatori minoritari e ricombinazione.

#### 7. La giunzione n-p nei semiconduttori estrinseci.

Polarizzazione della giunzione. Rottura della giunzione n-p. Il diodo tunnel. Il transistor. Il transistor ad effetto di campo (FET). La fotocellula. Il termistore. Materiali e composti semiconduttori.

#### 8. La superconduzione.

Correnti critiche di superconduzione. Difetti reticolari e e superconduzione. materiali Superconduttori metallici. Materiali superconduttori ceramici.

#### 9. Proprietà termiche dei materiali.

La capacità termica. Il calore specifico reticolare. Il calore specifico elettronico. Capacità termica totale. Espansione termica. Conducibilità termica. Fenomeni di contatto.

#### 10. I materiali dielettrici.

Fattori influenzanti la costante dielettrica. Dissipazione di energia. Materiali isolanti. Materiali ferroelettrici. Materiali antiferroelettrici. Materiali piezoelettrici. Materiali piroelettrici. Materiali polimerici. I polimeri e le reazioni di polimerizzazione. Il peso molecolare delle macromolecole. Polimeri termoplastici e termoindurenti. Caratteristiche elettriche dei materiali polimerici. Classificazione dei principali polimeri termoplastici. Classificazione dei principali polimeri termoindurenti.

#### 11. I materiali magnetici.

Materiali diamagnetici. I materiali paramagnetici. I materiali ferromagnetici. Struttura dei domini. Antiferromagnetismo. Ferrimagnetismo. Anisotropia ferromagnetica. Materiali magnetici metallici (dolci). Materiali magnetici ceramici (dolci). Materiali magnetici metallici (duri). Materiali magnetici ceramici (duri).

#### 12. Materie prime, metallurgia, proprietà ed applicazioni elettriche degli elementi.

Principali elementi del 1. e 2. gruppo (cenno, in particolare Mg). Alcuni tra i principali metalli di transizione (in particolare Fe, Co, Ni, Cu, Ag, Zn). Principali elementi del 3., 4., 5. e 6. gruppo (in particolare Al, C, Si). Cenno su lantanidi e attinidi.

#### BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento: Appunti rilegati forniti dal docente.

Testi ausiliari, per approfondimenti:

L. Solymar, D. Walsh, *Lectures on the electrical properties of materials*, 5th ed., Oxford Univ. Press, 1993.

R. Rose, L. Shepard, J. Wulff, *Struttura e proprietà dei materiali. Vol. 4, proprietà elettriche*, Ed. Ambrosiana, 1975.

## E 4700      **Sensori e trasduttori**

Anno: periodo 5:1    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+3+4 (ore settimanali)

Docente: Andrea De Marchi

### PROGRAMMA

#### 1. *Introduzione.*

Classificazione, caratteristiche e terminologia, grandezze di influenza, criteri di scelta.

#### 2. *Caratterizzazione metrologica.*

Propagazione degli errori, analisi dell'incertezza, analisi spettrale, processi di rumore e derive, stima della stabilità.

#### 3. *Sensoristica tradizionale.*

*Strain gauge*, termometria, piezometria, sensori fotovoltaici, rivelatori di radiazioni nucleari.

#### 4. *Condizionamento di segnale.*

Circuiti per sensori resistivi, circuiti per sensori capacitivi ed induttivi, circuiti per sensori numerici.

#### 5. *Sensori ottici.*

Principi di funzionamento, sorgenti di radiazione, canali di trasmissione, rivelatori di radiazione.

#### 6. *Nuove tecnologie.*

Sensori a polimeri piezoelettrici, sensori a risonatori acustici, sensori a *film* spesso, sensori a *film* sottile, microsensori al silicio, *micro-machining*, sensori intelligenti, *remote sensing*.

#### 7. *Sensoristica per la qualità della vita.*

Biosensori, sensori chimici, sensori di rumore acustico.

#### 8. *Sensoristica per l'industria ed i controlli.*

Posizione, velocità lineare, accelerazione e vibrazione, angolo, velocità ed accelerazione angolare, forza e torsione, flusso, livello, prossimità e presenza, viscosità e densità.

## E 4780 Siderurgia

Anno: periodo 5:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+1 (ore settimanali); 70+15 (nell'intero periodo)

Docente: Aurelio Burdese

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. Essendo un corso di tipo applicativo l'estensione degli argomenti potrà variare in modo significativo rispetto all'impegno previsto nel programma in dipendenza di opportuni aggiornamenti della tecnologia.

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

### PROGRAMMA

*Chimica fisica dei processi siderurgici.* [20 ore]

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.* [30 ore]

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

*Ghisa.* [10 ore]

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

*Acciaio.* [10 ore]

Processi di preraffinazione 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. [15 ore]

### BIBLIOGRAFIA

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

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

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

**ESAME.** È previsto un solo accertamento finale tramite un colloquio orale. Il calendario viene stabilito in occasione di ogni appello in modo da favorire la massima flessibilità delle prove nel rispetto delle regole di Facoltà.

## E5341      **Struttura della materia (sperimentale)**

Anno: periodo 5:2

Docente: *da nominare*

L'obbiettivo del corso è quello di permettere a gli studenti dell'ultimo anno di partecipare ad esperimenti avanzati di fisica. Una parte introduttiva di circa venti ore è dedicata alla strumentazione base di un laboratorio moderno. Ogni esperimento è introdotto da un esame teorico degli aspetti fondamentali della fisica che sono necessari a capire l'esperimento stesso.

### PROGRAMMA

1. Parte introduttiva di carattere generale, dedicata all'apprendimento dell'uso della strumentazione di base per acquisizione dati. [20 ore]
2. Misure di topologia delle superfici di materiali metallici e isolanti a livello atomico mediante AFM (microscopia a forza atomica); microscopia e spettroscopia di materiali metallici con risoluzione atomica mediante STM (microscopia *tunnel* a scansione) in aria e a temperatura ambiente.
3. Resistività di metalli e di semiconduttori in funzione della temperatura tra 20 e 300 K.
4. Magnetoresistenza ed effetto Hall.
5. Spettroscopia Raman per la determinazione delle componenti ottiche dello spettro fononico.
6. Misure di calore specifico mediante DSC (calorimetria differenziale a scansione) per la determinazione del calore specifico fononico, della temperatura di Debye, e, per temperature superiori alla temperatura di Debye, della componente elettronica del calore specifico in materiali metallici (tra -100 °C e 500 °C).
7. Misure di suscettività magnetica complessa in *a.c.* a diverse frequenze, in funzione della temperatura e del campo applicato, per sistemi dia- e paramagnetici.
8. Cicli di magnetizzazione in continua per superconduttori ad alta  $T_C$ . Determinazione della *irreversibility line*.
9. La transizione superconduttiva.  $R$  vs  $T$  per materiali ad alta  $T_C$ . Caratteristiche  $E$  vs  $J$  a campo nullo e in campo magnetico. Energia di *pinning* del flusso magnetico.
10. Misure di effetto Josephson in giunzioni planari, a punta di contatto o a rottura in superconduttori a bassa ed alta  $T_C$  (tra 4.2 e 300 K).
11. Spettroscopia *tunnel* in giunzioni planari, a punta di contatto, o a rottura, aventi elettrodi nello stato normale ed in quello superconduttore (tra 4.2 e 300 K).

### BIBLIOGRAFIA

Testi generali di fisica dello stato solido, ad es.

Kittel, *Introduzione alla fisica dello stato solido*, Boringhieri.

## E5404 Superconduttività

(Corso ridotto)

Anno: periodo 5/2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4 (ore settimanali); 50 (nell'intero periodo)

Docente: Mario Rasetti

Il corso è inteso fornire una professionalità specifica a chi voglia affrontare professionalmente problemi avanzati nell'ambito dei nuovi materiali, anche non necessariamente superconduttori. Più in particolare, naturalmente, esso mira a fornire, a quegli studenti che fanno un uso applicativo esteso delle proprietà dei superconduttori, una comprensione profonda dei meccanismi fisici, dei fenomeni microscopici, dei metodi di misura e dei modelli concettuali di rappresentazione di tali materiali. Dato il livello alto di difficoltà e di aggiornamento, il corso è strumento professionale importante per chi intenda affrontare tali argomenti in un ambito di ricerca. Nel passato, dalla frequenza al corso sono spesso scaturite tesi di laurea interessanti (nell'ambito della scienza dei materiali, della fisica dello stato condensato, dello studio dei sistemi quantistici a molti corpi).

Le tre parti del corso – che ha durata complessiva di 55 / 60 ore – hanno peso approssimativamente uguale (di circa 20 ore ciascuna). Le lezioni sono accompagnate da esercitazioni, che consistono essenzialmente nella visita a laboratori di ricerca, in cui gli studenti assistono alla esecuzione di esperimenti, per un totale di circa 8 ore. Sono prerequisiti essenziali i corsi di matematica e fisica generali e i complementi di matematica; raccomandabili uno o due corsi di "fisica moderna" (che diano allo studente le nozioni di base di meccanica quantistica di "prima quantizzazione" e di meccanica statistica). Tutti gli elementi concettuali non istituzionali necessari vengono esaurientemente forniti durante il corso stesso; esistono tuttavia buoni testi di riferimento, che vengono indicati.

La prima parte è dedicata alla descrizione delle proprietà caratteristiche dei materiali superconduttori, della fenomenologia relativa e dei più importanti esperimenti che consentono di mettere in rilievo e caratterizzare tali proprietà. Vengono descritti la dipendenza della resistività dalla temperatura assoluta nella fase normale, nella fase superconduttrice e alla transizione; l'effetto Meissner – che corrisponde al passaggio, alla temperatura critica, da comportamento paramagnetico (ad alta temperatura) a diamagnetico (a bassa temperatura); il fenomeno delle correnti persistenti; la resistenza e le tecniche di misura del *gap* nello spettro energetico. Per i superconduttori ad alta temperatura critica viene discussa la complessa struttura chimica e cristallografica.

La seconda parte del corso consiste di una accurata rassegna dei modelli e delle teorie fisiche che consentono di descrivere il fenomeno della superconduttività. Dopo lo studio delle teorie fenomenologiche di London e di Landau-Ginburg, viene affrontata la teoria microscopica BCS (Bardeen, Cooper, Schrieffer). Tale teoria è basata su concetti profondi e complessi di meccanica e meccanica statistica quantistiche, dei cui elementi fondamentali viene data una rassegna. Si discutono i principi della seconda quantizzazione, le proprietà statistiche collettive di sistemi di particelle di Fermi (in particolare come queste possano formare stati legati) e di Bose (con il fenomeno della condensazione a bassa temperatura). Si richiamano altresì elementi di fisica dello stato solido: il concetto di banda di energia, il teorema di Bloch, le relazioni di dispersione dei fononi. Mediante tutti questi strumenti la teoria BCS viene descritta sia nella versione a temperatura zero (stato fondamentale) sia in quella a temperatura non-nulla, ricavandone tutte le proprietà termodinamiche, di equilibrio e non, interessanti. Per i superconduttori ad alta temperatura critica viene fatto un cenno alle più moderne teorie (modello di Hubbard e sue generalizzazioni) attualmente prese in considerazione.

La terza parte del corso è dedicata alle applicazioni. Vengono descritti e analizzati gli utilizzi nel trasporto di corrente elettrica, nell'accumulo di energia, nella meccanica (tramite la levitazione: trasporti, cuscinetti a levitazione magnetica). Si studia poi l'effetto Josephson e la sua applicazione negli SQUID (Quantum Interference Super-conductive Devices) per usi metrologici, di diagnostica medica, ecc.

## E5570 **Tecnologia dei materiali e chimica applicata**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 72+24+6 (ore, nell'intero periodo)  
Docente: Pietro Appendino

Il corso si propone di rendere familiare agli allievi la funzione svolta dai materiali sia nella realizzazione dei processi chimici e degli impianti connessi, sia nel condizionare l'impiego e la scelta dei componenti. Oltre alle tecnologie di trattamento e produzione delle più comuni classi di materiali, quali acque, combustibili, materiali ceramici, materiali leganti, materiali metallici ferrosi e non ferrosi, materiali polimerici e compositi, verranno descritte le loro proprietà più significative correlandole con la loro microstruttura, con la presenza di difetti e con il comportamento in esercizio.

REQUISITI. È necessaria la conoscenza degli argomenti trattati nel corso di *Chimica*.

### PROGRAMMA

#### *Acque.* [6 ore]

Approvvigionamento, consumi, interventi preliminari al loro utilizzo. Durezza delle acque e loro addolcimento. Demineralizzazione delle acque. Acque per usi potabili. Depurazione delle acque con metodi chimici, fisici e biologici.

#### *Combustibili.* [10 ore]

Poteri calorifici, volume e composizione dei fumi, temperatura teorica di combustione, temperatura di accensione, limiti di infiammabilità potenziale termico. Combustibili naturali: classificazione e riserve; combustibili solidi, combustibili liquidi; carburanti e propellenti; combustibili e inquinamento; combustibili gassosi naturali; processi di gassificazione di combustibili liquidi e solidi; lubrificanti.

#### *Proprietà generali dei solidi.* [8 ore]

Struttura cristallina regolare; siti interstiziali; soluzioni solide sostituzionali e interstiziali, ordinate e disordinate; fasi e composti intermedi. Difetti reticolari: vacanze, dislocazioni, difetti di superficie e di volume.

#### *Diagrammi di stato binari.* [8 ore]

Sistemi a completa miscibilità allo stato solido, sistemi con eutettici, peritettici, eutetoidi, peritetoidi, con fasi intermedie a fusione congruente e incongruente. Sistemi ternari.

#### *Materiali ceramici.* [8 ore]

Materiali ceramici tradizionali e innovativi per tecnologie avanzate. Materiali refrattari: refrattari acidi, basici e neutri.

*Materiali leganti.* [8 ore]

Leganti aerei: calce, gesso; leganti idraulici: cementi Portland, pozzolanico, siderurgico, alluminoso, calci idrauliche. Materiali vetrosi e vetroceramici.

*Materiali ferrosi.* [8 ore]

Elaborazione dei minerali di ferro, ghisa d'alto forno e sua conversione in acciaio; diagramma di stato ferro-cementite e ferro-grafite. Trattamenti termici sugli acciai: ricottura, normalizzazione, tempra e rinvenimento. Trattamenti superficiali; ghise grigie, sferoidali, malleabili, bianche.

*Altri materiali metallici.* [6 ore]

Alluminio e sue leghe da getto e da trattamento termomeccanico; rame e sue leghe; titanio e sue leghe; magnesio e sue leghe.

*Materiali polimerici.* [8 ore]

Termoplastici e termoindurenti; meccanismi di polimerizzazione, processi di polimerizzazione; additivi per materiali polimerici; proprietà dei materiali polimerici; siliconi; elastomeri.

*Materiali compositi.* [4 ore]

Proprietà generali; matrici e agenti rinforzanti; compositi a matrice polimerica, metallica, ceramica, vetrosa e vetroceramica.

## ESERCITAZIONI

Calcoli sulla determinazione della durezza temporanea, permanente e totale e sul consumo di reattivi del tipo della calce-soda o del fosfato trisodico per abatterla. [4 ore]

Calcoli sul potere calorifico superiore e inferiore dei combustibili, sulla composizione e volume dei fumi, sull'aria teorica di combustione, sulle perdite al camino e sul potenziale termico. [8 ore]

Calcoli sui moduli idraulico, calcareo, silicico, dei fondenti del cemento Portland e calcoli sulla sua composizione mineralogica. [3 ore]

Proprietà termiche dei materiali: coefficiente di dilatazione termica, conducibilità termica, resistenza agli sbalzi termici. [3 ore]

Proprietà meccaniche dei materiali: comportamento rispetto a sollecitazioni a trazione, a compressione, a fatica; durezza; fragilità e tenacità dei materiali; influenza della temperatura sulle proprietà. [6 ore]

## LABORATORIO

I laboratori, con squadre a numero limitato di studenti, riguarderanno:

Prove di determinazione delle caratteristiche delle acque e di alcune proprietà di combustibili e lubrificanti. [2 ore]

Prove di determinazione di alcune proprietà meccaniche dei materiali. [2 ore]

## BIBLIOGRAFIA

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

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

Appunti delle lezioni su alcuni argomenti relativi alle acque, sul problema dei carburanti e dell'inquinamento, sulla struttura regolare e difettiva dei solidi, sui materiali ceramici per tecnologie avanzate, sui materiali compositi.

## ESAME

È prevista all'inizio di giugno una prova scritta della durata di due ore, da svolgere senza l'ausilio di testi o appunti, riguardante calcoli sulla durezza e sulla dolcificazione delle acque, calcoli sul potere calorifico, sul volume e composizione dei fumi, sulla

temperatura teorica di combustione, sul potenziale termico dei combustibili, calcoli sui moduli e sulla composizione mineralogica del cemento Portland; descrizione e interpretazione di diagrammi di stato.

La prova dà luogo a una votazione in trentesimi e, qualora si concludesse con un esito insoddisfacente, potrà essere ripetuta verso la metà di giugno; essa esonera dal portare gli argomenti sopracitati fino alla prima sessione dell'AA successivo compresa.

## E 5640      Tecnologia meccanica

Anno: periodo 5:1

Docente: Rosolino Ippolito

### REQUISITI

Il corso è strettamente collegato con i corsi di *Disegno tecnico industriale*, *Disegno di macchine + Tecnologia meccanica* e *Tecnologia dei materiali metallici*. Essenziale è infatti la lettura del disegno e la conoscenza delle principali lavorazioni meccaniche con le relative macchine utensili. È inoltre richiesta la conoscenza di alcuni degli argomenti trattati nei corsi di *Meccanica applicata* (trasmissione del moto, attrito di strisciamento e di rotolamento, ruote dentate, vibrazioni di sistemi a più gradi di libertà) e di *Scienza delle costruzioni* (teoria delle travi, cerchi di Mohr, teorie di Tresca e Von Mises).

### PROGRAMMA

#### 1. *Processi di fabbricazione per fusione.* [8 ore]

Si illustrano gli elementi generali delle tecnologie di fonderia e i diversi metodi di formatura, sia in forma transitoria che in forma permanente. Gli argomenti trattati sono la solidificazione dei metalli (ritiro, materozza, dimensionamento del modello), le fusioni in forma transitoria (in terra, *cold box*, *shell molding*, microfusione), le fusioni in forma permanente (in conchiglia a gravità e sotto pressione, pressofusione, fusione centrifuga).

#### 2. *Lavorazioni per deformazione plastica.* [16 ore]

Dopo aver illustrato il comportamento dei materiali metallici in campo plastico, si introducono i concetti elementari della teoria della plasticità, attraverso l'uso delle ipotesi di Tresca e Von Mises. Si procede poi a illustrare le varie tecnologie di lavorazione dei metalli per deformazione plastica e per ciascuna di esse si forniscono formule semplificate per il calcolo delle grandezze principali in gioco: laminazione, estrusione, trafilatura, stampaggio, lavorazioni delle lamiere (piegatura, calandratura, imbutitura, tranciatura).

#### 3. *Attrezzature di bloccaggio.* [8 ore]

Vengono fornite le nozioni fondamentali relative alla progettazione delle attrezzature di bloccaggio utilizzate per la lavorazione dei particolari sulle diverse macchine utensili.

#### 4. *Aspetti economici delle lavorazioni meccaniche.* [6 ore]

Sono spiegati i criteri seguiti per l'ottimizzazione dei dati tecnologici nelle lavorazioni con asportazione di truciolo e il metodo impiegato per la scelta tra cicli in alternativa.

#### 5. *Macchine utensili a controllo numerico.* [26 ore]

Il controllo numerico rappresenta oggi la tecnica fondamentale seguita per l'automazione delle macchine utensili. Le lezioni forniscono un quadro generale di tale

tecnologia, sia con riferimento agli aspetti *hardware* che agli aspetti *software*. Generalità sul controllo numerico. Struttura e componentistica meccanica: comportamento dinamico della MIJ, guide, mandrini, servomotori elettrici ed idraulici, trasduttori, dispositivi di cambio utensili. Unità di governo ed interpolatore. Tipologie delle macchine a CN: macchine di tipo *stand alone*, celle di lavorazione, linee flessibili (FMS).

#### 6. *La saldatura.* [6 ore]

Viene dato un breve cenno sulle diverse metodologie di saldatura e sui problemi connessi con l'uso di tale tecnica di assemblaggio. Saldatura autogena ossiacetilenica. Saldatura autogena ad arco: con elettrodo rivestito, TIG, MIG, MAG, ad arco sommerso. Saldatura autogena elettrica per resistenza. Saldatura eterogenea: brasatura e saldo-brasatura. Difettologia dei giunti saldati.

#### 7. *Processi chimico-fisici di lavorazione.* [8 ore]

L'ultima parte del corso è dedicata ad una breve carrellata sui processi non convenzionali di lavorazione, alcuni dei quali peraltro sono divenuti di largo impiego in alcuni settori dell'industria meccanica tradizionale mentre altri rimangono confinati in settori specialistici. Più diffusamente vengono illustrati l'elettroerosione (EDM) e il laser.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vengono sviluppate per metà in aula e per metà in laboratorio. Le esercitazioni in aula sono dedicate ai cicli di fabbricazione e allo svolgimento di esercizi di calcolo. Le esercitazioni di laboratorio invece sono dedicate alla programmazione delle macchine a CN e al rilievo di parametri tecnologici con l'uso di sistemi di acquisizione dati.

Le esercitazioni di laboratorio vengono sviluppate con l'aiuto di studenti coadiutori e sotto la guida di un ricercatore. Il programma dettagliato delle esercitazioni è fornito ogni anno all'inizio del corso in funzione delle disponibilità del laboratorio.

Al termine di ciascuna esercitazione lo studente è tenuto a redigere una breve relazione scritta in buon italiano e corredata da schizzi e/o disegni eseguiti con cura. È raccomandato l'uso di appositi programmi di WP e di CAD.

### BIBLIOGRAFIA

Teoria ed aspetti generali:

F. Giusti, M. Santochi, *Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione*, Ed. Ambrosiana, Milano.

S. Kalpakjian, *Manufacturing engineering and technology*, Addison-Wesley.

Macchine utensili:

A. Secciani, G. Villani, *Produzione metalmeccanica. Vol. 2*, Cappelli, Bologna.

### ESAME

La prova finale si articola in due parti: una scritta ed una orale. La prova scritta comprende argomenti di teoria, esercizi di calcolo, lo sviluppo di un semplice ciclo di fabbricazione e/o di un ciclo di lavorazione su macchina a CN. Il raggiungimento di una valutazione sufficiente su tale parte è essenziale al fine del superamento dell'esame. La prova orale inizia con la discussione dell'elaborato e prosegue con un colloquio che può toccare argomenti dell'intero programma del corso.

## E 569 1      **Tecnologie e materiali per l'elettronica 1**

Anno: periodo 5:1    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali); 80 (nell'intero periodo)

Docente: Gian Paolo Bava

Scopo del corso è di fornire una visione sufficientemente ampia, approfondita ed aggiornata delle attuali tecnologie di realizzazione dei dispositivi elettronici ed optoelettronici di maggiore impiego (in silicio e semiconduttori composti) e per la realizzazione delle fibre ottiche. Si introdurranno anche nozioni relative alla funzionalità ed alle prestazioni dei dispositivi, e indicazioni sulle linee di sviluppo che si prevedono nella realizzazione di dispositivi d'avanguardia, con cenni sulle tecnologie richieste e sulle prestazioni attese.

**REQUISITI.** Oltre alle nozioni fondamentali di fisica e chimica, le conoscenze di base sui dispositivi elettronici.

### PROGRAMMA

1. Strutture cristalline perfette e difettive; struttura a bande per materiali di volume, eterostrutture e strutture quantistiche. [8 ore]
2. Caratterizzazione dei materiali semiconduttori: microscopia elettronica e microanalisi, caratterizzazioni strutturali, elettriche ed ottiche. [10 ore]
3. Aspetti generali della tecnologia; tecnologia del vuoto e camere depolverizzate. [6 ore]
4. Preparazione dei materiali monocristallini. Crescita dei substrati e crescita epitassiali con diverse tecnologie. [6 ore]
5. Tecniche fotolitografiche: ottica, elettronica, ionica ed olografia. Tecniche di deposizione ed incisione; deposizione dei metalli e dei dielettrici, incisioni per via umida (chimica) e via secca (ionica). [10 ore]
6. Drogaggio con tecniche di diffusione e di impiantazione ionica ed *annealing*. [6 ore]
7. Tecnologia delle fibre ottiche. Tecniche di produzione di fibre, fibre attive, cavi ottici. [4 ore]
8. Tecnologia dei dispositivi elettronici integrati al silicio; bipolari, MOS ed all'arseniuro di gallio. [10 ore]
9. Tecnologia dei dispositivi optoelettronici; laser DFB, laser MQW, amplificatori ottici, dispositivi fotonici e fotorivelatori. [10 ore]
10. *Packaging* dei dispositivi, accoppiamento fibra - dispositivo ed applicazione nei sistemi. Tecniche di interconnessione elettriche ed ottiche, *multi-chip module* e tecnologia dei circuiti stampati. [8 ore]
11. Qualità ed affidabilità dei dispositivi elettronici ed optoelettronici e fisica dei guasti. [4 ore]

**ESERCITAZIONI.** Non sono previste esercitazioni di calcolo né di laboratorio. Di solito vengono effettuate due visite ai laboratori tecnologici dello CSELT.

### BIBLIOGRAFIA

Testo di riferimento: Sono disponibili dispense che verranno distribuite durante il corso.

Testo ausiliario: S.M. Sze, *Dispositivi a semiconduttore*, Hoepli, 1991.

### ESAME

L'esame consiste in una prova orale sugli argomenti sviluppati nel corso e tende ad accertare l' "aver acquisito una mentalità tecnologica" (non dimostrazioni, ecc.).

## E 5692      **Tecnologie e materiali per l'elettronica 2**

Anno: periodo 5:2

Docente: *da nominare*

[Testo del programma da "Guida 1994/95"]

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.

## E5710 Tecnologie metallurgiche

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 70+30+10 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Mario Rosso

Il corso è volto all'approfondimento dei processi e delle tecnologie di formatura impiegate per la fabbricazione di pezzi finiti. In particolare vengono studiati e confrontati i processi di deformazione plastica, di fonderia e di metallurgia delle polveri. Si considerano infine le tecniche di giunzione, in quanto complementari alle precedenti tecnologie.

Approfonditi i principi fondamentali su cui si basano le predette tecnologie, vengono esaminati i processi e gli impianti utilizzati, le classi di materiali idonei ai singoli processi ed i rispettivi settori di applicazione.

Il corso non trascura gli aspetti legati alla difettologia ed al controllo qualità, riferiti sia ai processi che ai prodotti finiti.

Uno stretto contatto con le realtà industriali più significative, esplicantesi anche con visite appositamente programmate, fornisce un contenuto pratico al corso e favorisce un migliore aggiornamento su evoluzione ed innovazione tecnologica.

**REQUISITI.** È necessaria la conoscenza degli argomenti di carattere metallurgico trattati nei corsi fondamentali.

### PROGRAMMA

#### *Deformazione plastica.* [10 ore]

Richiami di teoria della plasticità, criteri di scorrimento e meccanismi di deformazione. Principali processi di deformazione plastica e stati di tensione applicati. Fenomeni influenti: temperatura, incrudimento, velocità di deformazione, superplasticità, deformazione non uniforme, attrito, lubrificazione e lubrificanti impiegate.

#### *Processi di deformazione.* [26 ore]

Fucinatura libera e in stampo chiuso, stampaggio a caldo, a semicaldo ed a freddo, stampaggio di precisione. Progettazione degli stampi. Estrusione diretta ed inversa. Trafilatura di tondi, fili e tubi. Laminazione a caldo ed a freddo, fenomeni nell'arco di contatto. Tensioni residue e difetti più comuni dopo lavorazione.

#### *Formatura delle lamiere sottili.* [8 ore]

Imbutitura, stiroimbutitura, curvatura e tranciatura. Valutazione degli sforzi, prove di imbutitura e criteri per valutare i limiti di formabilità. Coefficienti di anisotropia.

#### *Fonderia.* [16 ore]

Richiami ai principi di solidificazione delle leghe; leghe da fonderia. Diagramma di flusso e ciclo di lavorazione tipico di una fonderia. Modelli: tipi, progettazione e costruzione. Forme a perdere e permanenti, loro progettazione. Terre da fonderia e processi di formatura con sabbia. Anime e loro fabbricazione con processi a scatola calda ed a scatola fredda, ramolaggio. Processi speciali di formatura: a guscio, in vuoto, magnetica. Processo Policast. Fonderia di precisione. Forme permanenti: conchiglia, pressocolata e colata centrifuga. Formatura di leghe e compositi allo stato semisolido: processi tipo Rheocasting e Thixoforming. Lavorazioni di finitura e controllo dei getti.

#### *Metallurgia delle polveri.* [12 ore]

Analisi del ciclo completo di produzione dei sinterizzati. Polveri: tipi e caratteristiche derivanti dal processo di fabbricazione. Miscelazione, compattazione e relativi

impianti. Forme limiti ottenibili. Aspetti termodinamici del processo di sinterizzazione, sinterizzazione attivata, forni e atmosfere di sinterizzazione. Processi particolari di compattazione, pressatura isostatica a freddo ed a caldo, *powder injection molding*. Lavorazioni secondarie dei sinterizzati: trattamenti termici, calibrazione, infiltrazione e impregnazione. Controllo, finitura e applicazioni dei sinterizzati.

*Costi.* [3 ore]

Confronti tra le differenti tecnologie, alternative e criteri di scelta. Ottimizzazione tecnico-economica ed indici di costo.

*Tecniche di giunzione.* [5 ore]

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

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula consistono nello sviluppo di esempi applicativi e di calcolo sugli argomenti oggetto delle lezioni. Comprendono calcoli relativi a stati di tensione ed alla valutazione degli sforzi necessari per un determinato processo di deformazione plastica, calcoli di forze e potenze richieste, scelta dei tipi di impianti utili Per i diversi processi studiati.

Per quanto riguarda i processi di fonderia: calcolo di materozze, attacchi e canali di colata, baricentro termico, progettazione delle forme.

Determinazione degli sforzi per la compattazione delle polveri e scelta delle presse. Calcolo di atmosfere e tempi di sinterizzazione.

Analisi economica e valutazione dei costi.

Le prove in laboratorio riguardano le caratteristiche di formabilità e microstrutturali dei materiali assoggettati alle diverse tecnologie ed osservazione e analisi di pezzi finiti.

### BIBLIOGRAFIA

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

G. Mazzoleni, *Tecnologia dei metalli. Vol. II, Fonderia*, UTET, Torino, 1980.

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

Appunti del corso e fotocopie dei lucidi proiettati a lezione.

# Tavola alfabetica dei docenti

Docente (dipartimento) // codice : corso [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

---

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

p. 63 E4630 : *Scienza e tecnologia dei materiali ceramici* [4:1]

Orario di ricevimento: lunedì 10:30-12:30.

(L. Montanaro: Orario di ricevimento: martedì 10:30-12:30).

Prof. **Matteo Andriano** (*Energetica*)

p. 63 E3110 : *Macchine* [4:1]

TEL 564'4409. Orario di ricevimento: lunedì 10:30-12:30.

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

p. 100 E5570 : *Tecnologia dei materiali e chimica applicata* [5:2]

Prof. **Ernesto Arri** (*Ing. automatica e informatica*)

p. 71 E3670 : *Misure elettroniche* [4:2]

Prof. **Andrea Bacciotti** (*Matematica*)

p. 34 E0232 : *Analisi matematica 2* [2:1]

Orario di ricevimento: sarà concordato con gli studenti all'inizio delle lezioni, tenendo conto degli orari dei corsi.

Prof. **Enrico Ballatore** (*Ing. strutturale*)

p. 59 E4600 : *Scienza delle costruzioni* [3:1]

Orario di ricevimento: viene indicato all'inizio di ogni periodo didattico (due ore, un giorno alla settimana). Durante lo svolgimento del corso vengono fissati due incontri collettivi per chiarimenti didattici di interesse generale.

Prof. **Giovanni Barbero** (*Fisica*)

p. 24 E1901 : *Fisica I* [1:2]

Prof. **Gian Paolo Bava** (*Ing. elettronica*)

p. 113 E5691 : *Tecnologie e materiali per l'elettronica I* [5:1]

Prof. **Paolo Boieri** (*Matematica*)

p. 34 E0232 : *Analisi matematica 2* [2:1]

Orario di ricevimento: sarà concordato con gli studenti all'inizio delle lezioni, tenendo conto degli orari dei corsi.

Prof. **Ottavia Borello Filisetti** (*Fisica*)

p. 24 E1901 : *Fisica I* [1:2]

Docente (*dipartimento*) // codice : *corso* [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

---

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

- p. 70 E3180 : *Materiali metallici* [4:2]  
 94 E4780 : *Siderurgia* [5:1]

Prof. **Luisella Caire** (*Matematica*)

- p. 12 E0231 : *Analisi matematica I* [1:1]

Orario di ricevimento: sarà concordato con gli studenti all'inizio delle lezioni, tenendo conto dell'orario settimanale.

Prof. **Michele Cali Quaglia** (*Energetica*)

- p. 60 E2060 : *Fisica tecnica* [3:2]

TEL 564'4424,4499, EM cali@polito.it.

Prof. **Valeria Chiadò Piat** (*Matematica*)

- p. 34 E0232 : *Analisi matematica 2* [2:1]

Orario di ricevimento: sarà concordato con gli studenti all'inizio delle lezioni, tenendo conto degli orari dei corsi.

Prof. **Graziano Curti** (*Ing. meccanica*)

- p. 71 E0940 : *Costruzione di macchine* [5:2]

Orario di ricevimento: lunedì, venerdì, 10:30-12:30.

Prof. **Vito Daniele** (*Ing. elettronica*)

- p. 49 E1790 : *Elettrotecnica* [2:1]

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

- p. 78 E1700 : *Elettrometallurgia* [5:2]

Prof. **Andrea De Marchi** (*Ing. elettronica*)

- p. 92 E4700 : *Sensori e trasduttori* [5:1]

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

- p. 87 E4080 : *Processi industriali della chimica fine* [5:2]

Prof. **Donato Firrao** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

- p. 82 E3265 : *Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica* [5:1]

Prof. **Carlo Gianoglio** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

- p. 59 E4590 : *Scienza dei materiali* [3:1]

TEL 564'4669, FAX 564'4699. Orario di ricevimento: verrà indicato nella bacheca del Corso di laurea in Ingegneria dei materiali.

Docente (*dipartimento*) // codice : *corso* [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

---

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

- p. 87 E4050 : *Processi di produzione dei materiali macromolecolari* [5:2]  
 TEL 564'4652. Orario di ricevimento: mercoledì 16:30-17:30.

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

- p. 75 E0910 : *Corrosione e protezione dei materiali metallici* [5:2]

Prof. **Francesco Marino** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

- p. 88 E4640 : *Scienza e tecnologia dei materiali compositi* [4:2]

Prof. **Daniele Mazza** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

- p. 89 E4660 : *Scienza e tecnologia dei materiali elettrici* [5:1]

Prof. **Piero Mazzetti** (*Fisica*)

- p. 54 E5340 : *Struttura della materia* [2:2]

TEL 564'7342. Orario di ricevimento: il docente sarà sempre a disposizione degli studenti per tutto il tempo necessario dopo ogni lezione.

Prof. **Elio Miraldi** (*Fisica*)

- p. 84 E3880 : *Ottica* [5:2]

TEL 564'7339. Orario di ricevimento: non definito; il docente è reperibile in Dipartimento.

Prof. **Giovanni Monegato** (*Matematica*)

- p. 57 E0514 : *Calcolo numerico* [2:2]

Prof. **Carlo Naldi** (*Ing. elettronica*)

- p. 60 E1441 : *Dispositivi elettronici 1* [3:2]  
 77 E1442 : *Dispositivi elettronici 2* [5:2]

Prof. **Renato Orta** (*Ing. elettronica*)

- p. 72 E0770 : *Componenti e circuiti ottici* [5:1]

Prof. **Giovanni Perotti** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

- p. 84 E3950 : *Plasticità e lavorazione per deformazione plastica* [5:2]

Prof. **Aldo Priola** (*Scienza dei materiali e ing. chimica*)

- p. 12 E0620 : *Chimica* [1:1]  
 59 E4680 : *Scienza e tecnologia dei materiali polimerici* [3:2]

TEL 564'4656. Orario di ricevimento: lunedì 14:30-15:30.

Prof. **Luigi Prosperetti** (*Sistemi di produzione ed economia dell'azienda*)

- p. 64 E1530 : *Economia ed organizzazione aziendale* [4:1]

Docente (dipartimento) // codice : corso [anno:periodo] // modalità di contatto con gli studenti

---

Prof. **Mario Rasetti** (Fisica)

p. 97 E 5404 : *Superconduttività* [5:2]

Prof. **Massimo Rossetto** (Ing. meccanica)

p. 82 E 3265 : *Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica* [5:1]

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

p. 71 E 2740 : *Impianti metallurgici* [5:1]

116 E 5710 : *Tecnologie metallurgiche* [5:2]

TEL 564'4664. Orario di ricevimento: venerdì 8:30-10:30, o su appuntamento.

Prof. **Giuseppe Ruscica** (Energetica)

p. 87 E 4370 : *Proprietà termofisiche dei materiali* [5:2]

TEL 564'4434. Orario di ricevimento: esposto nella bacheca del Dipartimento, o su appuntamento telefonico.

Prof. **Massimo Sorli** (Ing. meccanica)

p. 59 E 1660 : *Elementi di meccanica teorica e applicata* [2:2]

TEL 564'6948. Orario di ricevimento: lunedì 10:30-12:30.

Prof. **Alfredo Strigazzi** (Fisica)

p. 24 E 1901 : *Fisica I* [1:2]

Prof. **Giancarlo Teppati** (Matematica)

p. 55 E 0234 : *Analisi matematica 3* [2:2]

Prof. **Elena Tresso** (Fisica)

p. 81 E 1994 : *Fisica delle superfici* [5:2]

TEL 564'7355, EM tresso@polito.it. Orario di ricevimento: mercoledì 9:30-11:30.

Prof. **Maurizio Zamboni** (Ing. elettronica)

p. 59 E 1710 : *Elettronica applicata* [3:1]

TEL 564'4079, EM zamboni@polito.it. Orario di ricevimento: tutti i giorni.

# Tavola alfabetica degli insegnamenti

<i>p.</i>	<i>codice</i>	<i>corso [anno:periodo] // docenti</i>
13	E 023 1	Analisi matematica 1 [1:1] Prof. Luisella Caire
23	E 023 2	Analisi matematica 2 [2:1] Prof. Andrea Bacciotti, Paolo Boieri, Valeria Chiadò Piat
31	E 023 4	Analisi matematica 3 (ridotto) [2:2] Prof. Giancarlo Teppati
32	E 051 4	Calcolo numerico (ridotto) [2:2] Prof. Giovanni Monegato
14	E 062 0	Chimica [1:1] Prof. Aldo Priola
57	E 077 0	Componenti e circuiti ottici [5:1] Prof. Renato Orta
58	E 091 0	Corrosione e protezione dei materiali metallici [5:2] Prof. Mario Maja
56	E 094 0	Costruzione di macchine [5:2] Prof. Graziano Curti
46	E 144 1	Dispositivi elettronici 1 [3:2] Prof. Carlo Naldi
60	E 144 2	Dispositivi elettronici 2 [5:2] Prof. Carlo Naldi
51	E 153 0	Economia ed organizzazione aziendale [4:1] Prof. Giovanni Fraquelli
33	E 166 0	Elementi di meccanica teorica e applicata [2:2] Prof. Massimo Sorli
61	E 170 0	Elettrometallurgia [5:2] Prof. Bruno De Benedetti
39	E 171 0	Elettronica applicata [3:1] Prof. Maurizio Zamboni
62	E 175 0	Elettronica dello stato solido [5:1]
28	E 179 0	Elettrotecnica [2:1] Prof. Vito Daniele
17	E 190 1	Fisica 1 [1:2] Prof. Elio Miraldi
24	E 190 2	Fisica 2 [2:1] Prof. Bruno Minetti
62	E 199 4	Fisica delle superfici (ridotto) [5:2] Prof. Elena Tresso
43	E 206 0	Fisica tecnica [3:2] Prof. Michele Cali Quaglia

<i>p.</i>	<i>codice</i>	<i>corso [anno:periodo] // docenti</i>
21	E 217 0	Fondamenti di informatica [1:2]
16	E 230 0	Geometria [1:2]
54	E 274 0	Impianti metallurgici [5:1] Prof. Mario Rosso
49	E 311 0	Macchine [4:1] Prof. Matteo Andriano
52	E 318 0	Materiali metallici [4:2] Prof. Aurelio Burdese
64	E 326 5	Meccanica dei materiali + Metallurgia meccanica (integrato) [5:1] Prof. Donato Firrao, Massimo Rossetto
53	E 367 0	Misure elettroniche [4:2] Prof. Ernesto Arri
65	E 388 0	Ottica [5:2] Prof. Elio Miraldi
67	E 395 0	Plasticità e lavorazione per deformazione plastica [5:2] Prof. Giovanni Perotti
68	E 405 0	Processi di produzione dei materiali macromolecolari [5:2] Prof. Giuseppe Gozzelino
70	E 408 0	Processi industriali della chimica fine [5:2] Prof. Franco Ferrero
71	E 437 0	Proprietà termofisiche dei materiali [5:2] Prof. Giuseppe Ruscica
37	E 459 0	Scienza dei materiali [3:1] Prof. Carlo Gianoglio
35	E 460 0	Scienza delle costruzioni [3:1] Prof. Enrico Ballatore
48	E 463 0	Scienza e tecnologia dei materiali ceramici [4:1] Prof. Ignazio Amato
74	E 464 0	Scienza e tecnologia dei materiali compositi [4:2] Prof. Francesco Marino
75	E 466 0	Scienza e tecnologia dei materiali elettrici [5:1] Prof. Daniele Mazza
41	E 468 0	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici [3:2] Prof. Aldo Priola
77	E 470 0	Sensori e trasduttori [5:1] Prof. Andrea De Marchi
78	E 478 0	Siderurgia [5:1] Prof. Aurelio Burdese
29	E 534 0	Struttura della materia [2:2] Prof. Piero Mazzetti
79	E 534 1	Struttura della materia (sperimentale) [5:2]

*p. codice corso [anno:periodo] // docenti*

---

- 80 E 540 4 Superconduttività (ridotto) [5:2]  
Prof. Mario Rasetti
- 81 E 557 0 Tecnologia dei materiali e chimica applicata [5:2]  
Prof. Pietro Appendino
- 83 E 564 0 Tecnologia meccanica [5:1]  
Prof. Rosolino Ippolito
- 85 E 569 1 Tecnologie e materiali per l'elettronica 1 [5:1]  
Prof. Gian Paolo Bava
- 86 E 569 2 Tecnologie e materiali per l'elettronica 2 [5:2]
- 87 E 571 0 Tecnologie metallurgiche [5:2]  
Prof. Mario Rosso