



**POLITECNICO
DI TORINO**

INGEGNERIA DEI MATERIALI

Prof. Maurizio Orlando
Prof. Luigi Cimmineri
Prof. Riccardo Nerva

Coordinatore

Ingegneria civile
Ingegneria elettronica
Ingegneria meccanica

Corso di laurea

Guida
ai programmi
dei corsi
1998/99

GIT (Binasco) nel mese di giugno 1998

Tel. 24 - 10129 Torino - Tel. 544.6254

del SERVIZIO STUDENTI

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 1998/99 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 didattico¹ 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 già dal DPR 20 maggio 1989² 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*³ di discipline affini.

Ogni Consiglio di corso di laurea può 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 nella Guida dello Studente-*Manifesto degli Studi*.

¹ Decreto Ministeriale del 22.05.1995, pubblicato sulla Gazzetta ufficiale n. 166 del 18.07.1995.

² Pubblicato sulla Gazzetta ufficiale n. 186 del 10.08.1989.

³ Questi gruppi coincidono con quelli dei raggruppamenti concorsuali per i professori universitari.

■ FINALITÀ E ORGANIZZAZIONE DIDATTICA DEI VARI CORSI DI LAUREA ■ LE GUIDE AI PROGRAMMI

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 ha previsto 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").

■ GLI INSEGNAMENTI

Il nuovo ordinamento didattico prevede diversi tipi di insegnamenti, distinti in monodisciplinari, interdisciplinari e multidisciplinari. Un corso interdisciplinare è costituito da 80-120 ore di attività didattiche (lezioni, esercitazioni, laboratori, seminari ecc.) e corrisponde ad una unità didattica o annualità. Un corso multidisciplinare è costituito da 40-80 ore di attività didattiche e corrisponde a mezza annualità. Un corso interdisciplinare è costituito da 80-120 ore di attività didattiche e corrisponde ad una annualità; caso 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 improntamente semestri): ogni Periodo didattico è di durata pari ad almeno 13 settimane effettive di attività. Un'altra novità introdotta è il raggruppamento disciplinari consistenti in gruppi di discipline affini. Ogni Consiglio di corso di laurea può adeguare annualmente il piano degli studi alle nuove esigenze richieste dal rapido evolversi delle conoscenze e degli sviluppi tecnologici. Per 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'insegnamento degli insegnamenti non obbligatori, eventualmente organizzati in orientamenti.

Tutte queste informazioni e norme vengono pubblicate ogni anno nella Guida dello Studente. Ministero degli Studi.

¹ Decreto Ministeriale del 22.05.1987, pubblicato sulla Gazzetta ufficiale n. 166 del 18.07.1987.

² Pubblicato sulla Gazzetta ufficiale n. 186 del 10.08.1987.

³ Questi gruppi originano con quelli dei raggruppamenti concordati per i professori universitari.

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

Nonostante questa situazione potenzialmente favorevole occorre sottolineare che in Italia, a differenza di tutti i paesi più industrializzati nei quali la ricerca e la didattica relative ai materiali si sono notevolmente sviluppate, vi è stata finora una scarsa attenzione a questi problemi. Solo in tempi relativamente recenti sono stati infatti attivati presso alcune Facoltà di ingegneria corsi di laurea in *Ingegneria dei materiali*.

Per quanto concerne l'attivazione del nuovo corso di laurea presso il Politecnico di Torino occorre rilevare che in tale ambito sono presenti spettri di competenze specifiche assai ampi, specie

se confrontati con quelli di altre sedi universitarie dell'Italia nord-occidentale. Il territorio di riferimento è dunque assai esteso e caratterizzato dalla presenza del più importante e complesso tessuto di industrie che utilizzano o producono i migliori materiali tradizionali e quelli più avanzati di tutto il territorio nazionale. In esso già esiste un mercato del lavoro che deve essere occupato e che è destinato ad espandersi, ed è presente una forte domanda di formazione altamente qualificata nell'area dei materiali, per garantire l'indispensabile competitività delle industrie anche in questo fondamentale settore.

Con riferimento anche a quanto testè esposto, e avendo presente 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. 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.

I materiali e le tecnologie realizzative di vitale importanza per l'innovazione tecnologica dell'elettronica 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,...).

A partire dall'anno accademico 1996/97, il corso di laurea in *Ingegneria dei Materiali* ha attivato l'orientamento *Materiali per l'industria Cartaria*, al fine di offrire ad alcuni studenti opportunamente selezionati la possibilità di frequentare per un anno l'EFPG di Grenoble e di conseguirvi il diploma d'ingegnere cartario. Questa iniziativa, attualmente unica a livello nazionale, è stata favorevolmente accolta da alcune aziende operanti nel settore cartario, che hanno deciso di sponsorizzarla; è così possibile formare ingegneri altamente specializzati in un settore per il quale in precedenza non esistevano corsi universitari specifici.

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.

La preparazione di base è completata da un corso di laurea, due di laurea triennale e uno di dottorato, secondo i requisiti richiesti dall'ordinamento degli studi di ingegneria. In particolare, i corsi di laurea triennale hanno soprattutto il compito di svolgere un ruolo formativo sugli aspetti metodologici interpretativi propri della fisica. I corsi di laurea triennale e di laurea magistrale della fisica generale sulle unità dimensionali, una trattazione particolare del campo elettromagnetico e di quello contornando, e della fisica classica, 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 ferromagnetismo. Per quanto concerne l'ottica, la teoria del circuito 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 laurea triennale di approfondire le tematiche di fisica classica, di fisica moderna e di fisica nucleare. In particolare, vengono introdotte le trasformazioni di Lorentz, con l'obiettivo di fornire una base per la trattazione di 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 optato 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 classica e di fisica dello stato solido con una particolare trattazione della struttura cristallina 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 termodinamica e della fluidodinamica.

■ 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'obiettivo 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 matematica 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 Generale* e uno di *Elettrotecnica*, secondo i requisiti richiesti dall'ordinamento degli studi di ingegneria. In particolare i corsi di *Fisica Generale* hanno soprattutto il compito di svolgere un ruolo formativo sugli aspetti unificanti della metodologia interpretativa propria della fisica. Punti significativi, sono rispettivamente, nella *Fisica Generale 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 Generale 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 matematica 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*, 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 *Fondamenti 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 1*, 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 *Fondamenti di meccanica teorica e applicata*, dagli insegnamenti di *Macchine*. La preparazione professionale nel campo degli impianti si concretizza con un corso di *Impianti metallurgici*.

■ 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

Materiali per l'industria cartaria

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.

Per quanto concerne l'orientamento, la preparazione professionale nel campo della meccanica e della scienza e tecnologia dei materiali, dove sono sviluppate alcune conoscenze specifiche, è il risultato di un percorso di studio che si articola in due fasi principali: la prima, che costituisce il nucleo fondamentale della preparazione, è comune a tutti gli orientamenti e si svolge nei primi due anni di corso; la seconda, che costituisce il nucleo specifico dell'orientamento, si svolge nei successivi due anni di corso. La preparazione professionale nel campo della meccanica e della scienza e tecnologia dei materiali, dove sono sviluppate alcune conoscenze specifiche, è il risultato di un percorso di studio che si articola in due fasi principali: la prima, che costituisce il nucleo fondamentale della preparazione, è comune a tutti gli orientamenti e si svolge nei primi due anni di corso; la seconda, che costituisce il nucleo specifico dell'orientamento, si svolge nei successivi due anni di 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 previste 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, difettata 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.

■ QUADRO DIDATTICO DEGLI INSEGNAMENTI OBBLIGATORI

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA DEI MATERIALI

Anno	1° periodo didattico		2° periodo didattico	
1	E0231	Analisi matematica I	E2300	Geometria
	E0620	Chimica	E1901	Fisica generale I
			E2170	Fondamenti di informatica
2	E0232	Analisi matematica II	E5340	Struttura della materia
	E1902	Fisica generale II	E0234	Analisi matematica III (r)
	E1790	Elettrotecnica	E0514	Calcolo numerico (r)
			EA240	Fondamenti di meccanica teorica e applicata
3	E4600	Scienza delle costruzioni	E4681	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I
	E4590	Scienza dei materiali	E2060	Fisica tecnica
	EA410	Elettronica	E1441	Dispositivi elettronici I
4	E4630	Scienza e tecnologia dei materiali ceramici	E3180	Materiali metallici
	E3110	Macchine	E3670	Misure elettroniche
	E1530	Economia e organizzazione aziendale	E1435	Disegno tecnico industriale / Costruzione di macchine
5	E2740	Impianti metallurgici	Y (3)	
	Y (1)		Y (4)	
	Y (2)		Y (5)	
	Y (5)			

■ INSEGNAMENTI DI ORIENTAMENTO ■

Orientamento Materiali metallici e metallurgia

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

Orientamento Materiali per elettronica e optoelettronica

Y (1)	E5691	Tecnologie e materiali per l'elettronica I
Y (2)	E4640	Scienza e tecnologia dei materiali compositi
Y (3)	E1445	Dispositivi elettronici II/Elettronica dello stato solido
Y (4)	EA560	Fotonica
Y (5)		Vedi Tabella A o B

Orientamento Materiali ceramici e polimerici

Y (1)		Vedi Tabella A o B
Y (2)	E4640	Scienza e tecnologia dei materiali compositi
Y (3)	E4682	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici II
Y (4)	E5404	Superconduttività (r)
Y (4)	E1994	Fisica delle superfici (r)
Y (5)		Vedi Tabella A o B

Orientamento Materiali per l'industria cartaria(1)

Y (1)	EA620	Materiali per la carta
Y (2)	EA630	Processi di fabbricazione delle paste cellulosiche
Y (3)	EA640	Processi di fabbricazione della carta
Y (4)	E4640	Scienza e tecnologia dei materiali compositi
Y (5)	E0840	Controlli automatici

(1) Orientamento destinato agli studenti vincitori di borse di studio bandite dall'Assocarta; le discipline dell'orientamento devono essere seguite presso l'Institut National Polytechnique de Grenoble.

(i) Corso integrato

(r) Corso ridotto

Tabella A (1° semestre)

E4780	Siderurgia
E3265	Meccanica dei materiali/Metallurgia meccanica (i)
E5691	Tecnologie e materiali per l'elettronica I
E0440	Biomateriali
EA720	Complementi di struttura della materia

Tabella B (2° semestre)

E5341	Struttura della materia (sperimentale)
E3880	Ottica
E4370	Proprietà termofisiche dei materiali
E1445	Dispositivi elettronici II/Elettronica dello stato solido (i)
E0910	Corrosione e protezione dei materiali metallici
E5404	Superconduttività (r)
E1994	Fisica delle superfici (r)
E5692	Tecnologie e materiali per l'elettronica II
EA560	Fotonica
E5710	Tecnologie metallurgiche
E4682	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici II

- (i) Corso integrato
(r) Corso ridotto

Tabella delle discipline umanistiche

UM001	Metodologia delle scienze naturali
UM002	Propedeutica filosofica
UM003	Sociologia del lavoro
UM004	Sociologia delle comunicazioni di massa
UM005	Storia della filosofia
UM006	Storia della tecnica
UM007	Teoria dei linguaggi
UM008	Storia del diritto italiano
UM012	Lingua italiana con esercitazioni di Retorica linguistica
UM013	Il concetto di simmetria dall'antichità ad oggi.

■ FINALITÀ DELLA TESI DI LAUREA

La tesi di laurea consiste nello svolgimento di un lavoro di ricerca teorica o applicata, uno studio sperimentale o un progetto.

Ogni docente propone tesi di tipo diverso, che prevedono un impegno di lavoro per un periodo di circa sei mesi.

La tesi di laurea dev'essere elaborata personalmente dal candidato che, al termine della sua attività, ne cura la stampa.

Una Commissione, convocata dal Rettore su indicazione del Presidente del CCL, esprime un giudizio sulla tesi, che si estrinseca con un voto.

Direzione e guida

Relatore e co-relatori

Nello svolgimento della tesi, il laureando è assistito da un relatore, che dev'essere un professore ufficiale o un ricercatore confermato dell'Ateneo. Egli assume la figura di *tutore* del laureando nell'indirizzo e nello svolgimento del lavoro.

Gli eventuali co-relatori (in numero massimo di due) possono anche essere esterni all'Ateneo.

Il relatore e gli eventuali co-relatori sono chiamati a far parte della Commissione di Laurea, fermo restando il principio di legge per cui, nella medesima, i docenti ufficiali devono essere in maggioranza.

Referente per l'eventuale dignità di stampa

Quando il relatore ritiene che una tesi possa meritare la *dignità di stampa* per il suo eccezionale valore, egli avanza la richiesta di assegnazione di un *referente*, inoltrandola al Presidente del CCL almeno quaranta giorni prima dell'inizio della sessione di laurea.

Il presidente del CCL designa un referente, estraneo al Politecnico di Torino, fra le personalità italiane o straniere appartenenti alla comunità scientifica (non necessariamente al mondo accademico).

Il referente riceve copia della tesi definitiva almeno trenta giorni prima della sua discussione ed esprime un parere scritto sul lavoro. Se il referente è straniero, indica in quale lingua della U. E. dev'essere tradotta la copia della tesi a lui destinata.

È auspicabile che il referente partecipi alla Commissione di Laurea come membro aggiunto; qualora ciò non fosse possibile, è sufficiente che egli faccia pervenire la propria relazione scritta al presidente della Commissione di Laurea.

La relazione del referente costituisce un documento ufficiale che viene:

allegato e conservato insieme alla tesi;

consegnato in copia al candidato al termine dell'esame di laurea.

Valutazione

Struttura della valutazione

L'esame di laurea viene valutato tenendo conto:

1. dell'intera carriera scolastica

2. del voto di tesi

A sua volta il voto di tesi verrà attribuito in base alla qualità:

2a. del lavoro effettuato

2b. della presentazione scritta e orale

Valutazione della qualità dell'intera carriera scolastica

La valutazione della qualità dell'intera carriera scolastica è rappresentata dalla media dei voti conseguiti nelle annualità superate dal candidato, esclusi i voti peggiori relativi ad un massimo di due annualità equivalenti.

Valutazione della qualità del lavoro di tesi

In funzione della qualità della tesi viene attribuito un voto compreso tra 66 e 110, anche in seguito alle indicazioni documentate del relatore, il quale segnala l'impegno che il lavoro ha comportato e lo zelo impiegato nelle prove sperimentali e nelle misurazioni.

Valutazione della qualità della presentazione

La commissione può attribuire alla presentazione un voto compreso tra 0 e 1,0/110, tenendo conto:

- della padronanza della materia dimostrata dal candidato
- della prontezza e della precisione con le quali il candidato ha risposto alle domande rivoltegli dai commissari
- della chiarezza e della capacità di sintesi nell'esposizione orale, grafica e scritta.

Attribuzione della lode

Qualora il voto finale raggiunga il valore massimo (110/110), è possibile conferire la lode se il candidato ha meritato il voto di 30 e lode negli esami di almeno tre annualità.

La dignità di stampa

Per lavori di tesi particolarmente significativi sotto il profilo scientifico, che abbiano meritato il punteggio massimo e la eventuale lode, è possibile un ulteriore riconoscimento costituito dalla *dignità di stampa*. In tal caso è necessario che la tesi sia stata sottoposta al giudizio del referente, che questi abbia espresso parere favorevole e che siano pure favorevoli i tre quarti dei commissari.

Lingua utilizzata

La tesi dev'essere redatta in lingua italiana ed eventualmente accompagnata da una copia scritta in una lingua ufficiale della U. E. (preferibilmente l'inglese).

Adempimenti burocratici

Prima del lavoro di tesi

Per essere ammessi alla discussione della tesi di laurea, gli allievi devono fare domanda al presidente del CCL, tramite appositi moduli, almeno quindici giorni prima d'iniziare il lavoro di tesi. I suddetti moduli devono essere compilati in ogni loro parte e controfirmati dal relatore e dagli eventuali co-relatori.

Il presidente del CCL esamina le domande presentate per valutare la congruenza dell'argomento della tesi con la specificità del corso di laurea. Se il presidente non avanza osservazioni, dopo quindici giorni dalla presentazione del modulo l'argomento di tesi può essere considerato approvato e il lavoro può iniziare.

È necessario che tra la data d'inizio della tesi e l'esame di laurea intercorra un intervallo di tempo pari ad almeno tre mesi.

Al termine del lavoro di tesi

L'attestazione dell'effettivo svolgimento della tesi è a cura del relatore e degli eventuali co-relatori, i quali controfirmano il modulo indicante il titolo definitivo. Il candidato deve consegnarlo al Servizio Studenti unitamente alla domanda di ammissione all'esame di laurea.

Entro una settimana dall'esame di laurea, il candidato deve consegnare al presidente di CCL:

- una copia della versione definitiva della tesi di laurea,
- un riassunto della tesi (massimo tre pagine) contenente le informazioni che si ritiene opportuno fornire anticipatamente ai componenti la commissione di laurea.

Il corso è articolato in 14 lezioni, di cui 10 in aula e 4 in laboratorio. Le lezioni in aula sono di 50 minuti, mentre le lezioni in laboratorio sono di 90 minuti.

Anno: 1 Pericolo: 1

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

Docente: Luisa CAIRÉ

Il corso si propone di introdurre inanzitutto il 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 le applicazioni in fisica e dell'ingegneria) alla loro applicazione alle successive discipline tecnologiche.

PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI OBBLIGATORI

REQUISITI

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

PROGRAMMA

- 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]
- 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]
- Successioni; Teorema di Bolzano-Weierstrass; funzione esponenziale. [6 ore]
- Proprietà globali delle funzioni continue: teorema degli zeri e applicazioni; continuità della funzione inversa. Teorema di Weierstrass; continuità uniforme. [6 ore]
- Derivata e differenziale; regole di derivazione; applicazioni allo studio della monotonia e degli estremi. [6 ore]
- 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]
- Primitive (integrale indefinito) per funzioni continue a tratti. Regole di integrazione. [6 ore]
- 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]
- Integrali impropri e criteri di convergenza. [6 ore]
- Equazioni differenziali a variabili separabili, equazioni differenziali lineari del primo e secondo ordine. [6 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 I*, Liguori

Testi ausiliari:

F. Boleri, G. Chini, *Precorso di matematica*, Zanichelli

A. Tabacco, D. Giublesi, *Temi scelti di Analisi matematica I*, Lezrotto & Bella.

Anno: 1 Periodo: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

- 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]
- 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]
- Successioni; Teorema di Bolzano-Weierstrass; funzione esponenziale. [6 ore]
- Proprietà globali delle funzioni continue: teorema degli zeri e applicazioni; continuità della funzione inversa. Teorema di Weierstrass; continuità uniforme. [6 ore]
- Derivata e differenziale; regole di derivazione; applicazioni allo studio della monotonìa e degli estremi. [6 ore]
- 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]
- Primitive (integrale indefinito) per funzioni continue a tratti. Regole di integrazione. [6 ore]
- 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]
- Integrali impropri e criteri di convergenza. [6 ore]
- Equazioni differenziali a variabili separabili, equazioni differenziali lineari del primo e secondo ordine. [6 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

Testi ausiliari:

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

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

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.

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

- Introduzione al linguaggio matematico. Inductamento insiemistico di relazioni e funzioni. Numeri cardinali. Principio di induzione. Concetti di calcolo combinatorio. Insiami numerici in particolare numeri reali. Proprietà qualitative delle funzioni reali di variabile reale. [12 ore]
- Continuità in un punto e teoremi sulle funzioni continue. Limiti e teoremi sui limiti. Limiti di funzioni monotone. Continuità su funzioni infinite e infinite. Assiomi reali. [16 ore]
- Successori; Teorema di Bolzano-Weierstrass; funzione esponenziale. [6 ore]
- Proprietà globali delle funzioni continue; teorema degli zeri e applicazioni; continuità della funzione inversa. Teorema di Weierstrass; continuità uniforme. [6 ore]
- Derivate e differenziale; regole di derivazione; applicazioni allo studio della monotonia e degli estremi. [6 ore]
- 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]
- Primitive (integrale indefinito) per funzioni continue a tratti. Regole di integrazione. [6 ore]
- Integrale definito (di Riemann); classi di funzioni integrabili; media integrale; proprietà fondamentali e disuguaglianze relative all'integrale definito. Funzione integrale; proprietà e teoremi fondamentali del calcolo integrale. [6 ore]
- Integrali impropri e criteri di convergenza. [6 ore]
- Equazioni differenziali a variabili separabili, equazioni differenziali lineari del primo e secondo ordine. [6 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 ripetitivi tavoli dagli allievi.

BIBLIOGRAFIA

- Testo di riferimento:
A. Bacciotti, F. Ricci, Analisi matematica I, Liguori.
Testi ausiliari:
F. Boier, G. Chini, Corso di matematica, Zanichelli.
A. Tabacco, D. Cioppesi, Testi scelti di Analisi matematica I, Levrotto & Bella.

Anno: 2

Periodo: 1

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

Docenti: **A. TABACCO**

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

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

LABORATORI E/O 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.

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.

(Corso ridotto)

Anno: 2

Periodo: 2

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 3+1 (ore settimanali); 36+14 (nell'intero periodo)

Docente:

Giancarlo TEPPATI**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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, δ 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.

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

E0514 **TORI E** **CALCOLO NUMERICO**

(Corso ridotto)

Anno: 2

Periodo: 2

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

Docente: **Annamaria Orsi PALAMARA**

PRESNTAZIONE DEL CORSO

Il corso ha lo scopo di garantire le conoscenze fondamentali in materia di calcolo numerico, mediante la descrizione e la valutazione critica di metodi di base per la risoluzione numerica di modelli matematici.

REQUISITI

Analisi Matematica I, Geometria, Fondamenti di Informatica.

PROGRAMMA

Elementi di base. [8 ore]

Aritmetica di un calcolatore e sue conseguenze nel calcolo numerico; analisi degli errori; condizionamento e stabilità.

Algebra lineare numerica. [10 ore]

Richiami sulle matrici; risoluzione di sistemi lineari: metodi diretti, metodi iterativi.

Approssimazione di funzioni e di dati sperimentali. [10 ore]

Interpolazione con polinomi algebrici e con funzioni spline; metodo dei minimi quadrati.

Calcolo di integrali. [6 ore]

Formule di quadratura di tipo interpolatorio; stima dell'errore; routines automatiche.

Equazioni non lineari. [6 ore]

Metodo di bisezione; metodo di Newton e metodi iterativi in generale per equazioni e per sistemi di equazioni non lineari.

Equazioni e sistemi di equazioni differenziali ordinarie per problemi ai valori iniziali. [10 ore]

Elementi di teoria; metodi one-step espliciti; metodi multistep lineari; convergenza e stabilità dei metodi numerici.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Vengono sottolineati, con esempi, aspetti particolarmente importanti degli argomenti trattati nelle lezioni, svolti esercizi che contribuiscono ad una migliore comprensione della teoria e costruiti algoritmi di calcolo.

BIBLIOGRAFIA

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

ESAME

L'esame consiste in una prova orale sull'intero programma svolto durante il corso.

E' necessario iscriversi all'esame presso la segreteria didattica del Dipartimento di Matematica, lato aule pari (orario: dalle 9 alle 12 dal lunedì al venerdì).

Anno: 1

Periodo: 1

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

Docenti:

Aldo PRIOLA**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

In questo corso ci si propone di illustrare le leggi fondamentali della chimica e 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 i legami chimici (14 ore).**

Le leggi fondamentali della chimica. La struttura dell'atomo. Comportamento chimico degli elementi, tavola periodica. Legami chimici: ibridizzazione; valenza. Significato quantitativo delle formule e principali tipi di 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. (4 ore)

Proprietà dei liquidi e delle soluzioni. Modi di esprimere la concentrazione delle soluzioni. Proprietà colligative: pressione osmotica, conducibilità elettrica, ebulloscopia 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. Ordine di reazione e molecolarità. Energia di attivazione. Aspetti cinetici e termodinamici nei processi chimici.

Equilibrio chimico (8 ore)

La legge dell'azione di massa dedotta da considerazioni cinetiche. Principio di Le Chatelier. Equilibri in fase omogenea ed eterogenea. Equilibri in soluzione: dissociazione di acidi e basi (pH), idrolisi, soluzioni tampone.

Elettrochimica (7 ore)

I potenziali standard di riduzione: equazione di Nernst. Spontaneità delle reazioni di ossidoriduzione. 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.

LABORATORI E/O 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

R. Michelin, A. Munari, *Fondamenti di Chimica per l'Ingegneria*, Cedam, Padova

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 quesiti 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.

MODALITÀ DI CONTATTO CON I DOCENTI

Prof. A. Priola - Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica

Tel. 5644656 - ricevimento studenti lunedì 14.30-15.30

E-Mail: Priola@fenice.polito.it

E0945

Costruzione di Macchine + Disegno Tecnico Industriale

(Corso integrato)

Anno: 4

Periodo: 2

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

Docente:

Giovanni ROCCATI

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso intende fornire, con il primo modulo, una formazione di base sulle norme del disegno tecnico, in modo da consentire agli allievi sia l'interpretazione dei disegni delle macchine già esistenti, sia l'esecuzione di schizzi e semplici disegni, e potrà essere completato da alcuni cenni sull'uso di tecniche CAD. Il secondo modulo fornisce i concetti fondamentali per i calcoli di verifica e progetto degli organi delle macchine con particolare riferimento ai problemi di maggiore interesse per l'ingegnere elettrico.

REQUISITI

Sono propedeutici al secondo modulo i corsi di *Meccanica applicata alle macchine* e *Scienza delle costruzioni*.

PROGRAMMA

Costruzione di macchine

Richiami sullo stato di sollecitazione di un punto, tensioni principali, cerchi di Mohr, fatica ed effetto di intaglio, calcoli di verifica dei cuscinetti a rotolamento. [10 ore]

Ruote dentate; studio geometrico e calcoli di resistenza. [6 ore]

Dischi rotanti e tubi spessi. [6 ore]

Verifica collegamenti con linguette e scanalati, bulloni. [6 ore]

Molle. [4 ore]

Velocità critiche flessionali ed oscillazioni torsionali. [6 ore]

Disegno tecnico industriale

Assonometrie unificate, proiezioni ortogonali, sezioni, criteri generali di quotatura.

[4 ore]

Tolleranze dimensionali, generiche e ISO, tolleranze di forma. [6 ore]

Tecniche per definire le forme dei pezzi, criteri specifici di quotatura, e rugosità superficiale. [6 ore]

Disegno di elementi di macchine di particolare rilevanza: linguette, profili scanalati, cuscinetti a rotolamento, ruote dentate, illustrazione di alcuni esempi di disegni significativi. [8 ore]

Cenni su tecniche CAD. [2 ore]

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Schizzi o minute di elementi meccanici e di complessivi preferibilmente di macchine od apparecchiature elettriche. [26 ore]

Applicazioni numeriche sul proporzionamento di organi meccanici, o calcolo di velocità critiche e pulsazioni proprie torsionali. [14 ore]

BIBLIOGRAFIA

Appunti dalle lezioni del corso, sussidiati da fotocopie di appunti precedentemente preparati dal docente.

E1441 **DISPOSITIVI ELETTRONICI 1**

Anno: 3 Periodo: 2

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

Docente: **Carlo NALDI**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

- *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.

- *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.

- *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.

- *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.

- *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.

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

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

- *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.
- *Giunzione metallo – semiconduttore*. [3+4]

Barriera di Schottky; capacità differenziale. Tecnica di misura $C(V)$ dei profili di drogaggio; diodo Schottky e contatti ohmici.
 - *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*.
 - *Transistore a effetto di campo a giunzione*. [2+0]
 - *Transistore bipolare*. [7+4]

Effetto transistorore; regioni di funzionamento; modelli di Ebers–Moll e modelli SPICE. Effetto *Early*. Tempi di commutazione, modello a controllo di carica. Effetto della resistenza distribuita di base. *Breakdown* a valanga e perforazione diretta.

Tecnologia dei transistori integrati: transistorore planare *nnp*; transistorore parassita, transistori *pnp*. Modello di processo; transistorore *Schottky* e isolamento a ossido.
 - *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).
 - *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.
 - *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.

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, To, 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.

E1530 ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE

Anno: 4

Periodo: 1

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)

Docente: **Giovanni FRAQUELLI** (collab.: Elena Ragazzi)

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Produzione e costi:

la produzione come combinazione di fattori;

la produzione come combinazione di processi.

Break-even analysis e decisioni operative:

impresa monoprodotta e prezzo di vendita costante;

impresa monoprodotta e prezzo sensibile alla quantità venduta;

funzione discontinua 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.

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso intende fornire i principi base dell'elettronica con particolare riferimento alle applicazioni delle loro applicazioni in ambiente industriale.

REQUISITI

Sono predefinite le nozioni del corso di Elettronica.

PROGRAMMA

- Richiami di elettrotecnica. Partizione equivalente di Thévenin e Norton. Calcolo simbolico.
- Trasformatore di Laplace.
- Funzione di rete. Stabilità. Piano di Bode. Dodecal Diagramma di Bode del modulo e della fase di polo e zero del primo ordine. Fasi di curva di risposta. Banda passante.
- Definizione del doppio bipolo. Amplificatori ideali di tensione, corrente, transimpedenza e transconduttanza. Cascata di doppi bipoli.

- Risposta al transitorio di reti RC, RL e tempo di salita. Uso dell'onda quadrata 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. Voltmetro di

cresta. Raddrizzatori ad una e doppia semionda. Ponte di diodi. Regolatori con Zener.

- Comportamento termico dei dispositivi. Transistor bipolare. Funzionamento in

saturation e interazione. SOA.

- Polarizzazione del transistor. Modello per piccolo segnale. Stadi CC e CE. Distorsione

Dinamica. Amplificatori per alta fedeltà e continua.

- Studio differenziale. Offset e deriva. V_{BE} e I_B. Accenti ai JFET e MOSFET.

- Operazionale. Modello per modo comune e differenziale. Offset e deriva. Amplificatori in

azione e corrente. Effetti della non idealità di A_v. Impedenza di ingresso ed uscita.

- Amplificatori di transimpedenza e di tensione invertente, sommatore, integratore e derivatore.

- Amplificatori di transconduttanza e di corrente. Reazione negativa. Stabilità nel dominio del

tempo e della frequenza.

- Studio della stabilità in sistemi a retroazione. Margine di fase e di guadagno. Calcolo del

EA310 ELETTRONICA

Anno: 3

Periodo: 1

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

Docente:

Maurizio ZAMBONI

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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. Sommatori, 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,...)).

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

1. Reti elettriche, funzioni di trasferimento.
2. Analisi del transitorio, risposta all'onda quadra.
3. Circuiti con diodi (limitatori, formatori, circuiti di protezione).
4. Circuiti con diodi Zener (regolatori).
5. Operazionali: lettura e commento delle caratteristiche.
6. Operazionali: *offset* e *derivate*, dimensionamento dei componenti esterni.
7. Operazionali: circuiti base (amplificatori, sommatore, filtri).
8. Operazionali: circuiti non lineari (diodo ideale, raddrizzatori).
9. Generatori di forma d'onda.
10. Alimentatore stabilizzato 78xx.
11. Famiglie logiche (lettura caratteristiche, interfacciamento, progetto di circuiti elementari).

LABORATORIO

1. Uso di alcune apparecchiature elettroniche (oscilloscopio, generatore di segnale, alimentatore).
2. Comportamento di circuiti RC, rivelatori di cresta.
3. Circuiti con operazionali (amplificatori, sommatore, filtri).
4. 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*, Merrill-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.

Anno: 2 Periodo: 1
 Impegno (ore) lezioni 80 esercitazioni 40
 Docente: Vito DÁNIELE

PRESENTAZIONE

L'Elettrotecnica è la scienza che studia i dispositivi elettromagnetici e le loro connessioni, nell'ipotesi di trascurare gli effetti propagativi. In queste condizioni il funzionamento di tali dispositivi può essere descritto completamente mediante la Teoria dei Circuiti che costituisce quindi la parte essenziale di questa materia. Oltre che gli aspetti metodologici della Teoria dei Circuiti, tuttavia il corso si occuperà anche di alcuni aspetti di Elettromagnetismo che hanno ripercussione sulla deduzione delle relazioni costitutive dei modelli circuitali.

PROGRAMMA**Introduzione e reti resistive [25 ore di lezione, 4 ore di esercitazione]**

Limiti della teoria dei circuiti. Grandezze elettriche su un multipolo e Leggi di Kirchhoff. Bipoli elettrici. Potenza entrante e passività. Relazioni costitutive. Resistore ideale. Generatori ideali di tensione. Generatori ideali di corrente. Induttore ideale.

Condensatore ideale. Multipoli e Multiporta. Principio di sostituzione. Reti passive. Circuiti elementari. Resistore costituito da una rete di resistori. Metodi particolari per il calcolo di una rete con un solo generatore. Metodi di calcolo di reti con più di un generatore. Teorema di Thevenin. Teorema di Norton. Teoria elementare dei Metodi generali. Multipoli resistivi. Generatori pilotati. Resistori non ideali e non lineari.

Reti nel dominio della frequenza [14 ore di lezione, 5 ore di esercitazione]

I fasori e loro utilizzazione nella rappresentazione di grandezze sinusoidali isofrequenziali. Proprietà dei fasori. Reti fasoriali. Leggi di Kirchhoff e relazioni costitutive. Bipoli inerti e loro Impedenza: Ammettenza, Resistenza, Reattanza, conduttanza e suscettanza di un bipolo d'impedenza. Connessioni di bipoli di impedenza. Estensione dei metodi elementari e generali al calcolo di reti fasoriali. Diagrammi fasoriali e loro utilizzazione per la soluzione di problemi inversi. Potenze in regime sinusoidale: Potenza attiva, reattiva, complessa ed apparente. Teorema di Boucherot. Sistemi Trifase. Rifasamento. Calcolo di reti in presenza di generatori sinusoidali non isofrequenziali. Integrale di Fourier e Trasformata di Fourier (Cenni). Funzione di trasferimento. Proprietà filtranti delle reti. Filtri e risuonatori (cenni)

Multiporta con memoria [2 ore di lezione, 1 ora di esercitazione]

Multiporta induttivi e capacitivi. Trasformatori. Trasformatori perfetti. Circuiti equivalenti.

Reti lineari dinamiche [14 ore di lezione, 5 ore di esercitazione]

Metodo della trasformata di Laplace. Leggi di Kirchhoff nel dominio delle Trasformate di Laplace. Relazioni costitutive nel dominio delle Trasformate di Laplace. Impedenza ed ammettenza di un bipolo. Calcolo simbolico con le trasformate di

Laplace. Calcolo di Trasformate. Calcolo di Antitrasformate. Teorema del valore iniziale e finale. Applicazioni. Ordine di complessità di una rete. Variabili di stato. Equazioni di stato nelle reti non degeneri. Presenza di interruttori. Equazioni di stato nelle reti degeneri. Soluzioni dell'equazioni di stato. Maglie di induttori e tagli di condensatori. Transitori. Reti con una costante di tempo. Relazione tra i poli della rete e gli autovalori della matrice A.

Doppi bipoli lineari [3 ore di lezione, 1 ore di esercitazione]

Rappresentazione generale, Thevenin e Norton. Parametri Z, Parametri Y, Parametri H, Parametri G. Parametri A,B,C,D o di trasmissione. Parametri di trasmissione inversa. Relazioni tra i parametri di un doppio bipolo. Impedenze iterative ed immagini (cenni). Interconnessioni di doppi bipoli.

Reti magnetiche [4 ore di lezione, 2 ore di esercitazione]

Equazioni degli avvolgimenti. Calcolo di una rete magnetica. Applicazioni.

Metodi generali per il calcolo di reti [3 ore di lezione]

Metodo dei nodi Matrice di incidenza. Teoremi di Tellegen e di Boucherot. Equazioni delle tensioni ai nodi di una rete.

Metodo delle corde o delle maglie fondamentali. Metodo dei rami o dei tagli fondamentali.

Considerazioni elettromagnetiche [9 ore di lezione, 2 ore di esercitazione]

Caratterizzazione elettromagnetica dei multipoli e delle reti elettriche. Realizzazione di resistori, induttori e condensatori. Multipoli induttivi e capacivi. Induttanze e capacità parziali. Comportamento reale dei componenti circuitali. Forze dovute a campi elettromagnetici.

Cenni di Impianti elettrici e macchine elettriche [6 ore di lezione]

Distribuzione dell'energia elettrica.. Interruttore automatico differenziale. Dispensori. Tensioni di passo. Trasformatore reale. Circuito equivalente e misura dei parametri. Sollecitazioni nelle macchine elettriche. Macchine in c.c.. Espressione della f.e.m indotta e della coppia. Reazione di indotto. Motori in c.c.. Caratteristiche meccaniche. Tipi di eccitazione. Campo magnetico ruotante. Macchina sincrona. Alternatore. Motore sincrono. Inserzione nella rete (Cenni). Macchina asincrona. Motori ad induzione. Caratteristica meccanica. Motori asincroni monofase (Cenni).

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Nelle esercitazioni saranno proposti alcuni esercizi significativi che lo studente e' invitato a svolgere completamente. Non sono previste esercitazioni sperimentali.

BIBLIOGRAFIA

V.Daniele-A.Liberatore-R.Graglia-S.Manetti, "Elettrotecnica", Seconda Edizione, Monduzzi Editore, Bologna, 1996.

V.Daniele-M.Gilli, "Reti elettriche nel dominio delle frequenze", CLUT, Torino 1997

Testi ausiliari:

C.Paul, "Analysis of Linear Circuits", McGraw-Hill

A.Laurentini-A.Meo-R.Pomè, "Esercizi di Elettrotecnica", Levrotto & Bella

ESAME

L'Esame di Elettrotecnica è a prenotazione obbligatoria. Questa si fa presso la Segreteria Studenti dei Dipartimenti Elettrici

(Piano terreno, davanti l'aula 12). Le prenotazioni sono chiuse a partire dal pomeriggio di due giorni prima dell'appello.

Sono previsti due tipi di esame (A e B), basati su una prova scritta comune.

Lo Statino viene ritirato prima di iniziare la prova scritta verificando l'identità del candidato (è sufficiente il libretto universitario).

Non è possibile sostenere la prova scritta privi di statino e di documento di identità. Una volta consegnato lo Statino l'Esame si intende cominciato e l'esito verra' comunque registrato.

Durante lo svolgimento dello scritto lo Studente deve avere con sè solo l'occorrente per scrivere (penna e carta), e per fare

calcoli e disegni. Pena l'espulsione dall'aula, sono vietati l'uso di appunti, libri, note, ecc...

Durante la prova scritta non è consentito uscire dall'aula. E' possibile ritirarsi dall'esame, ma l'esame verra' comunque registrato.

E1901 FISICA GENERALE 1

Anno: 1 Periodo: 2
Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2+2 (ore settimanali)
Docente: **ELIO MIRALDI** (collab.: Giorgio Kaniadakis)

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 porporre 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 1* e possieda 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.

LABORATORIO E/O 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 foggiate 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, ne sono ammesse rateizzazioni dell'esame in appelli diversi.

E1902 FISICA GENERALE 2

Anno: 2
Docente:

Periodo:1
Bruno MINETTI

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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.

- 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].
- Il teorema di Gauss. Forma integrale e forma differenziale nel vuoto [3.11], nella materia [4.12].
- 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].
- 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*.
- Relazione tra \mathbf{E} , \mathbf{P} , \mathbf{D} [4.12]. Prima equazione di Maxwell. Costante dielettrica e suscettività dielettrica [4.13].
- 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].
- Energia elettrostatica di un condensatore e densità di energia del campo elettrico (verifica della validità della formula) [3.30]. Misura della ϵ_{psilon} , [4.19].
- 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].
- 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].

- 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].

- 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.

- 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].

- 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'Ampère [6.10].

- 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].

- 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, μ , nei para- e diamagnetici [7.12].

- 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].

- 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].

- Autoinduzione [8.6]. Mutua induzione. Extra-correnti di chiusura e apertura in un circuito induttivo. Carica e scarica di un condensatore.

- 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.

- Circuiti R, L, C in alternata [8.9-10]. Oscillazioni forzate. Oscillazioni smorzate. Risonanza [appunti distribuiti].

- Le quattro equazioni di Maxwell [9.2]. Il teorema di Poynting [9.5]. Vettore di Poynting: suo significato e sua definizione come grandezza dimensionata.

- 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.

- 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].

- 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].

- Interazione onda - materia: indice di rifrazione complesso, costante ϵ , e polarizzabilità atomica: legame [12.3]. Assorbimento nei dielettrici.

- Assorbimento nei metalli [12.6]. Caso delle basse frequenze. Caso delle alte frequenze.

- Il sistema internazionale da elaborazione personale (sulla base degli argomenti precedentemente trattati). ϵ_0 : sua equazione dimensionale. μ_0 : sua equazione dimensionale. Velocità della luce.

- Dalle equazioni di Maxwell al teorema di Poynting, alle equazioni di D'Alembert (da elabo-

razione personale sulla base degli argomenti precedentemente trattati) da elaborazione personale. Enunciazione dei contenuti delle equazioni di Maxwell.

- Corda continua [appunti distribuiti]. Dipendenza della velocità dalla tensione della fune e dalla densità lineare della fune. Quantizzazione delle lunghezze d'onda.

Ottica.

- 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.

- Metodo per osservare l'interferenza [14.1]. Interferenza in lamine sottili [14.2].

- Principio di Huyghens - Fresnel. Diffrazione: definizione generale. Diffrazione da una fenditura rettangolare indefinita e interpretazione fenomeno diffrazione [appunti distribuiti].

- Reticolo di diffrazione [appunti distribuiti]. Diffrattometro. Misura della lunghezza d'onda. Collimatore. Cannocchiale. Errore nella misurazione di λ [laboratorio].

- 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.

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

- 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.

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

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

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

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

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

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

- 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.

- 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.

Aviso 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.

Le macchine a vapore.

Miscela di gas e sostanze condensabili.

Psicrometria.

Le trasformazioni delle macchine per la climatizzazione ambientale.

2. *Corsi di termodinamica dei sistemi continui.*

Definizioni e proprietà matematiche.

Le equazioni fondamentali di conservazione in forma differenziale.

Le equazioni fondamentali di conservazione in forma integrale.

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 le soluzioni delle reti.

Applicazioni: gli effetti termoelettrici (Seebeck, Peltier, Thomson).

Il moto dei fluidi interni.

Viscosità.

Regimi di moto laminare e turbolento.

Strato limite delle velocità.

Attrito sulle pareti e attrito sulle lamine.

Il flusso attraverso gli ugelli convergenti e divergenti.

Le equazioni per i fluidi viscosi.

Le equazioni di Navier-Stokes.

La convezione forzata e naturale.

I metodi delle analogie.

Teoria dimensionale.

Le relazioni empiriche per il rendimento generalizzato.

L'irraggiamento.

Definizioni.

Il corpo nero.

Le proprietà emissive della materia.

L'utilizzazione dell'energia in (1) e (2) e (3) e (4) e (5) e (6) e (7) e (8) e (9) e (10) e (11) e (12) e (13) e (14) e (15) e (16) e (17) e (18) e (19) e (20) e (21) e (22) e (23) e (24) e (25) e (26) e (27) e (28) e (29) e (30) e (31) e (32) e (33) e (34) e (35) e (36) e (37) e (38) e (39) e (40) e (41) e (42) e (43) e (44) e (45) e (46) e (47) e (48) e (49) e (50) e (51) e (52) e (53) e (54) e (55) e (56) e (57) e (58) e (59) e (60) e (61) e (62) e (63) e (64) e (65) e (66) e (67) e (68) e (69) e (70) e (71) e (72) e (73) e (74) e (75) e (76) e (77) e (78) e (79) e (80) e (81) e (82) e (83) e (84) e (85) e (86) e (87) e (88) e (89) e (90) e (91) e (92) e (93) e (94) e (95) e (96) e (97) e (98) e (99) e (100) e (101) e (102) e (103) e (104) e (105) e (106) e (107) e (108) e (109) e (110) e (111) e (112) e (113) e (114) e (115) e (116) e (117) e (118) e (119) e (120) e (121) e (122) e (123) e (124) e (125) e (126) e (127) e (128) e (129) e (130) e (131) e (132) e (133) e (134) e (135) e (136) e (137) e (138) e (139) e (140) e (141) e (142) e (143) e (144) e (145) e (146) e (147) e (148) e (149) e (150) e (151) e (152) e (153) e (154) e (155) e (156) e (157) e (158) e (159) e (160) e (161) e (162) e (163) e (164) e (165) e (166) e (167) e (168) e (169) e (170) e (171) e (172) e (173) e (174) e (175) e (176) e (177) e (178) e (179) e (180) e (181) e (182) e (183) e (184) e (185) e (186) e (187) e (188) e (189) e (190) e (191) e (192) e (193) e (194) e (195) e (196) e (197) e (198) e (199) e (200) e (201) e (202) e (203) e (204) e (205) e (206) e (207) e (208) e (209) e (210) e (211) e (212) e (213) e (214) e (215) e (216) e (217) e (218) e (219) e (220) e (221) e (222) e (223) e (224) e (225) e (226) e (227) e (228) e (229) e (230) e (231) e (232) e (233) e (234) e (235) e (236) e (237) e (238) e (239) e (240) e (241) e (242) e (243) e (244) e (245) e (246) e (247) e (248) e (249) e (250) e (251) e (252) e (253) e (254) e (255) e (256) e (257) e (258) e (259) e (260) e (261) e (262) e (263) e (264) e (265) e (266) e (267) e (268) e (269) e (270) e (271) e (272) e (273) e (274) e (275) e (276) e (277) e (278) e (279) e (280) e (281) e (282) e (283) e (284) e (285) e (286) e (287) e (288) e (289) e (290) e (291) e (292) e (293) e (294) e (295) e (296) e (297) e (298) e (299) e (300) e (301) e (302) e (303) e (304) e (305) e (306) e (307) e (308) e (309) e (310) e (311) e (312) e (313) e (314) e (315) e (316) e (317) e (318) e (319) e (320) e (321) e (322) e (323) e (324) e (325) e (326) e (327) e (328) e (329) e (330) e (331) e (332) e (333) e (334) e (335) e (336) e (337) e (338) e (339) e (340) e (341) e (342) e (343) e (344) e (345) e (346) e (347) e (348) e (349) e (350) e (351) e (352) e (353) e (354) e (355) e (356) e (357) e (358) e (359) e (360) e (361) e (362) e (363) e (364) e (365) e (366) e (367) e (368) e (369) e (370) e (371) e (372) e (373) e (374) e (375) e (376) e (377) e (378) e (379) e (380) e (381) e (382) e (383) e (384) e (385) e (386) e (387) e (388) e (389) e (390) e (391) e (392) e (393) e (394) e (395) e (396) e (397) e (398) e (399) e (400) e (401) e (402) e (403) e (404) e (405) e (406) e (407) e (408) e (409) e (410) e (411) e (412) e (413) e (414) e (415) e (416) e (417) e (418) e (419) e (420) e (421) e (422) e (423) e (424) e (425) e (426) e (427) e (428) e (429) e (430) e (431) e (432) e (433) e (434) e (435) e (436) e (437) e (438) e (439) e (440) e (441) e (442) e (443) e (444) e (445) e (446) e (447) e (448) e (449) e (450) e (451) e (452) e (453) e (454) e (455) e (456) e (457) e (458) e (459) e (460) e (461) e (462) e (463) e (464) e (465) e (466) e (467) e (468) e (469) e (470) e (471) e (472) e (473) e (474) e (475) e (476) e (477) e (478) e (479) e (480) e (481) e (482) e (483) e (484) e (485) e (486) e (487) e (488) e (489) e (490) e (491) e (492) e (493) e (494) e (495) e (496) e (497) e (498) e (499) e (500) e (501) e (502) e (503) e (504) e (505) e (506) e (507) e (508) e (509) e (510) e (511) e (512) e (513) e (514) e (515) e (516) e (517) e (518) e (519) e (520) e (521) e (522) e (523) e (524) e (525) e (526) e (527) e (528) e (529) e (530) e (531) e (532) e (533) e (534) e (535) e (536) e (537) e (538) e (539) e (540) e (541) e (542) e (543) e (544) e (545) e (546) e (547) e (548) e (549) e (550) e (551) e (552) e (553) e (554) e (555) e (556) e (557) e (558) e (559) e (560) e (561) e (562) e (563) e (564) e (565) e (566) e (567) e (568) e (569) e (570) e (571) e (572) e (573) e (574) e (575) e (576) e (577) e (578) e (579) e (580) e (581) e (582) e (583) e (584) e (585) e (586) e (587) e (588) e (589) e (590) e (591) e (592) e (593) e (594) e (595) e (596) e (597) e (598) e (599) e (600) e (601) e (602) e (603) e (604) e (605) e (606) e (607) e (608) e (609) e (610) e (611) e (612) e (613) e (614) e (615) e (616) e (617) e (618) e (619) e (620) e (621) e (622) e (623) e (624) e (625) e (626) e (627) e (628) e (629) e (630) e (631) e (632) e (633) e (634) e (635) e (636) e (637) e (638) e (639) e (640) e (641) e (642) e (643) e (644) e (645) e (646) e (647) e (648) e (649) e (650) e (651) e (652) e (653) e (654) e (655) e (656) e (657) e (658) e (659) e (660) e (661) e (662) e (663) e (664) e (665) e (666) e (667) e (668) e (669) e (670) e (671) e (672) e (673) e (674) e (675) e (676) e (677) e (678) e (679) e (680) e (681) e (682) e (683) e (684) e (685) e (686) e (687) e (688) e (689) e (690) e (691) e (692) e (693) e (694) e (695) e (696) e (697) e (698) e (699) e (700) e (701) e (702) e (703) e (704) e (705) e (706) e (707) e (708) e (709) e (710) e (711) e (712) e (713) e (714) e (715) e (716) e (717) e (718) e (719) e (720) e (721) e (722) e (723) e (724) e (725) e (726) e (727) e (728) e (729) e (730) e (731) e (732) e (733) e (734) e (735) e (736) e (737) e (738) e (739) e (740) e (741) e (742) e (743) e (744) e (745) e (746) e (747) e (748) e (749) e (750) e (751) e (752) e (753) e (754) e (755) e (756) e (757) e (758) e (759) e (760) e (761) e (762) e (763) e (764) e (765) e (766) e (767) e (768) e (769) e (770) e (771) e (772) e (773) e (774) e (775) e (776) e (777) e (778) e (779) e (780) e (781) e (782) e (783) e (784) e (785) e (786) e (787) e (788) e (789) e (790) e (791) e (792) e (793) e (794) e (795) e (796) e (797) e (798) e (799) e (800) e (801) e (802) e (803) e (804) e (805) e (806) e (807) e (808) e (809) e (810) e (811) e (812) e (813) e (814) e (815) e (816) e (817) e (818) e (819) e (820) e (821) e (822) e (823) e (824) e (825) e (826) e (827) e (828) e (829) e (830) e (831) e (832) e (833) e (834) e (835) e (836) e (837) e (838) e (839) e (840) e (841) e (842) e (843) e (844) e (845) e (846) e (847) e (848) e (849) e (850) e (851) e (852) e (853) e (854) e (855) e (856) e (857) e (858) e (859) e (860) e (861) e (862) e (863) e (864) e (865) e (866) e (867) e (868) e (869) e (870) e (871) e (872) e (873) e (874) e (875) e (876) e (877) e (878) e (879) e (880) e (881) e (882) e (883) e (884) e (885) e (886) e (887) e (888) e (889) e (890) e (891) e (892) e (893) e (894) e (895) e (896) e (897) e (898) e (899) e (900) e (901) e (902) e (903) e (904) e (905) e (906) e (907) e (908) e (909) e (910) e (911) e (912) e (913) e (914) e (915) e (916) e (917) e (918) e (919) e (920) e (921) e (922) e (923) e (924) e (925) e (926) e (927) e (928) e (929) e (930) e (931) e (932) e (933) e (934) e (935) e (936) e (937) e (938) e (939) e (940) e (941) e (942) e (943) e (944) e (945) e (946) e (947) e (948) e (949) e (950) e (951) e (952) e (953) e (954) e (955) e (956) e (957) e (958) e (959) e (960) e (961) e (962) e (963) e (964) e (965) e (966) e (967) e (968) e (969) e (970) e (971) e (972) e (973) e (974) e (975) e (976) e (977) e (978) e (979) e (980) e (981) e (982) e (983) e (984) e (985) e (986) e (987) e (988) e (989) e (990) e (991) e (992) e (993) e (994) e (995) e (996) e (997) e (998) e (999) e (1000) e (1001) e (1002) e (1003) e (1004) e (1005) e (1006) e (1007) e (1008) e (1009) e (1010) e (1011) e (1012) e (1013) e (1014) e (1015) e (1016) e (1017) e (1018) e (1019) e (1020) e (1021) e (1022) e (1023) e (1024) e (1025) e (1026) e (1027) e (1028) e (1029) e (1030) e (1031) e (1032) e (1033) e (1034) e (1035) e (1036) e (1037) e (1038) e (1039) e (1040) e (1041) e (1042) e (1043) e (1044) e (1045) e (1046) e (1047) e (1048) e (1049) e (1050) e (1051) e (1052) e (1053) e (1054) e (1055) e (1056) e (1057) e (1058) e (1059) e (1060) e (1061) e (1062) e (1063) e (1064) e (1065) e (1066) e (1067) e (1068) e (1069) e (1070) e (1071) e (1072) e (1073) e (1074) e (1075) e (1076) e (1077) e (1078) e (1079) e (1080) e (1081) e (1082) e (1083) e (1084) e (1085) e (1086) e (1087) e (1088) e (1089) e (1090) e (1091) e (1092) e (1093) e (1094) e (1095) e (1096) e (1097) e (1098) e (1099) e (1100) e (1101) e (1102) e (1103) e (1104) e (1105) e (1106) e (1107) e (1108) e (1109) e (1110) e (1111) e (1112) e (1113) e (1114) e (1115) e (1116) e (1117) e (1118) e (1119) e (1120) e (1121) e (1122) e (1123) e (1124) e (1125) e (1126) e (1127) e (1128) e (1129) e (1130) e (1131) e (1132) e (1133) e (1134) e (1135) e (1136) e (1137) e (1138) e (1139) e (1140) e (1141) e (1142) e (1143) e (1144) e (1145) e (1146) e (1147) e (1148) e (1149) e (1150) e (1151) e (1152) e (1153) e (1154) e (1155) e (1156) e (1157) e (1158) e (1159) e (1160) e (1161) e (1162) e (1163) e (1164) e (1165) e (1166) e (1167) e (1168) e (1169) e (1170) e (1171) e (1172) e (1173) e (1174) e (1175) e (1176) e (1177) e (1178) e (1179) e (1180) e (1181) e (1182) e (1183) e (1184) e (1185) e (1186) e (1187) e (1188) e (1189) e (1190) e (1191) e (1192) e (1193) e (1194) e (1195) e (1196) e (1197) e (1198) e (1199) e (1200) e (1201) e (1202) e (1203) e (1204) e (1205) e (1206) e (1207) e (1208) e (1209) e (1210) e (1211) e (1212) e (1213) e (1214) e (1215) e (1216) e (1217) e (1218) e (1219) e (1220) e (1221) e (1222) e (1223) e (1224) e (1225) e (1226) e (1227) e (1228) e (1229) e (1230) e (1231) e (1232) e (1233) e (1234) e (1235) e (1236) e (1237) e (1238) e (1239) e (1240) e (1241) e (1242) e (1243) e (1244) e (1245) e (1246) e (1247) e (1248) e (1249) e (1250) e (1251) e (1252) e (1253) e (1254) e (1255) e (1256) e (1257) e (1258) e (1259) e (1260) e (1261) e (1262) e (1263) e (1264) e (1265) e (1266) e (1267) e (1268) e (1269) e (1270) e (1271) e (1272) e (1273) e (1274) e (1275) e (1276) e (1277) e (1278) e (1279) e (1280) e (1281) e (1282) e (1283) e (1284) e (1285) e (1286) e (1287) e (1288) e (1289) e (1290) e (1291) e (1292) e (1293) e (1294) e (1295) e (1296) e (1297) e (1298) e (1299) e (1300) e (1301) e (1302) e (1303) e (1304) e (1305) e (1306) e (1307) e (1308) e (1309) e (1310) e (1311) e (1312) e (1313) e (1314) e (1315) e (1316) e (1317) e (1318) e (1319) e (1320) e (1321) e (1322) e (1323) e (1324) e (1325) e (1326) e (1327) e (1328) e (1329) e (1330) e (1331) e (1332) e (1333) e (1334) e (1335) e (1336) e (1337) e (1338) e (1339) e (1340) e (1341) e (1342) e (1343) e (1344) e (1345) e (1346) e (1347) e (1348) e (1349) e (1350) e (1351) e (1352) e (1353) e (1354) e (1355) e (1356) e (1357) e (1358) e (1359) e (1360) e (1361) e (1362) e (1363) e (1364) e (1365) e (1366) e (1367) e (1368) e (1369) e (1370) e (1371) e (1372) e (1373) e (1374) e (1375) e (1376) e (1377) e (1378) e (1379) e (1380) e (1381) e (1382) e (1383) e (1384) e (1385) e (1386) e (1387) e (1388) e (1389) e (1390) e (1391) e (1392) e (1393) e (1394) e (1395) e (1396) e (1397) e (1398) e (1399) e (1400) e (1401) e (1402) e (1403) e (1404) e (1405) e (1406) e (1407) e (1408) e (1409) e (1410) e (1411) e (1412) e (1413) e (1414) e (1415) e (1416) e (1417) e (1418) e (1419) e (1420) e (1421) e (1422) e (1423) e (1424) e (1425) e (1426) e (1427) e (1428) e (1429) e (1430) e (1431) e (1432) e (1433) e (1434) e (1435) e (1436) e (1437) e (1438) e (1439) e (1440) e (1441) e (1442) e (1443) e (1444) e (1445) e (1446) e (1447) e (1448) e (1449) e (1450) e (1451) e (1452) e (1453) e (1454) e (1455) e (1456) e (1457) e (1458) e (1459) e (1460) e (1461) e (1462) e (1463) e (1464) e (1465) e (1466) e (1467) e (1468) e (1469) e (1470) e (1471) e (1472) e (1473) e (1474) e (1475) e (1476) e (1477) e (1478) e (1479) e (1480) e (1481) e (1482) e (1483) e (1484) e (1485) e (1486) e (1487) e (1488) e (1489) e (1490) e (1491) e (1492) e (1493) e (1494) e (1495) e (1496) e (1497) e (1498) e (1499) e (1500) e (1501) e (1502) e (1503) e (1504) e (1505) e (1506) e (1507) e (1508) e (1509) e (1510) e (1511) e (1512) e (1513) e (1514) e (1515) e (1516) e (1517) e (1518) e (1519) e (1520) e (1521) e (1522) e (1523) e (1524) e (1525) e (1526) e (1527) e (1528) e (1529) e (1530) e (1531) e (1532) e (1533) e (1534) e (1535) e (1536) e (1537) e (1538) e (1539) e (1540) e (1541) e (1542) e (1543) e (1544) e (1545) e (1546) e (1547) e (1548) e (1549) e (1550) e (1551) e (1552) e (1553) e (1554) e (1555) e (1556) e (1557) e (1558) e (1559) e (1560) e (1561) e (1562) e (1563) e (1564) e (1565) e (1566) e (1567) e (1568) e (1569) e (1570) e (1571) e (1572) e (1573) e (1574) e (1575) e (1576) e (1577) e (1578) e (1579) e (1580) e (1581) e (1582) e (1583) e (1584) e (1585) e (1586) e (1587) e (1588) e (1589) e (1590) e (1591) e (1592) e (1593) e (1594) e (1595) e (1596) e (1597) e (1598) e (1599) e (1600) e (1601) e (1602) e (1603) e (1604) e (1605) e (1606) e (1607) e (1608) e (1609) e (1610) e (1611) e (1612) e (1613) e (1614) e (1615) e (1616) e (1617) e (1618) e (1619) e (1620) e (1621) e (1622) e (1623) e (1624) e (1625) e (1626) e (1627) e (1628) e (1629) e (1630) e (1631) e (1632) e (1633) e (1634) e (1635) e (1636) e (1637) e (1638) e (1639) e (1640) e (1641) e (1642) e (1643) e (1644) e (1645) e (1646) e (1647) e (1648) e (1649) e (1650) e (1651) e (1652) e (1653) e (1654) e (1655) e (1656) e (1657) e (1658) e (1659) e (1660) e (1661) e (1662) e (1663) e (1664) e (1665) e (1666) e (1667) e (1668) e (1669) e (1670) e (1671) e (1672) e (1673) e (1674) e (1675) e (1676) e (1677) e (1678) e (1679) e (1680) e (1681) e (1682) e (1683) e (1684) e (1685) e (1686) e (1687) e (1688) e (1689) e (1690) e (1691) e (1692) e (1693) e (1694) e (1695) e (1696) e (1697) e (1698) e

E2060 FISICA TECNICA

Anno: 3

Periodo:2

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

Docente: **Michele CALÌ QUAGLIA**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

1. 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 diseuguaglianza di accumulazione.

La diseuguaglianza 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.

2. *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.

3. *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 Rayleigh.
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.

4. Termotecnica.

I camini.

Gli scambiatori di calore.

Cenni ai problemi della climatizzazione ambientale.

Gli impianti di riscaldamento e condizionamento.

La normativa vigente.

5. 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.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Esercizi svolti in aula sui temi trattati a lezione e sviluppo di una monografia di termodinamica sul calcolo completo del ciclo termodinamico 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.

Anno: 1

Periodo:2

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

Docente: **Enrico MACII****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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 elaboratori elettronici. Ci si prefissa 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 logico.

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 ed in 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 ciberspazio: gopher, veronica, wais, www); sistemi client-server.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

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

LABORATORIO

1. uso dei Personal Computer MS-DOS [4 ore]
2. programmazione in linguaggio C [14 ore]
3. uso di strumenti di produttività individuale [4 ore]
4. uso di strumenti per la navigazione in rete [2 ore]

BIBLIOGRAFIA

A.Lioy, "Fondamenti di Informatica - quaderno di testo", Politeko

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

J.Purdum, "Guida al C - corso completo di programmazione", Jackson

Testi ausiliari (per approfondimenti):

P.Bishop, "Informatica", Jackson

B.Kernigham, D.Ritchie, "Il linguaggio C", 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.

Anno: 2 Periodo: 2

Numero di ore settimanali: lezione: 6- esercitazione: 4

Docente: **Prof. Massimo SORLI**, Dipartimento di Meccanica

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso fornisce i principali elementi teorici e applicativi della meccanica. La prima parte del corso riguarda alcuni richiami di cinematica del punto e del corpo rigido, di statica, di geometria delle masse, e di dinamica, con particolare riferimento alle equazioni di equilibrio dinamico del corpo. Viene quindi descritto il fenomeno dell'attrito e vengono analizzati tipici organi di macchine ad attrito quali i freni e le frizioni. Sono poi introdotti gli organi di trasmissione del moto, gli ingranaggi e i flessibili. Infine, viene analizzato il comportamento dinamico di tipici 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: 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. ore 8

Accoppiamenti: rotoidale, prismatico, incastro; gradi di libertà. Supporti. Geometria delle masse: baricentri e momenti d'inerzia. Statica: vincoli e reazioni vincolari; gradi di libertà di un sistema, equazioni di equilibrio. Applicazioni delle equazioni di equilibrio per la risoluzione dei problemi di statica. ore 6

Dinamica: azioni 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; sistemi vibranti (oscillazioni libere e forzate). ore 12

Riepilogo e chiarimenti prima dell'accertamento intermedio. ore 4

Forze agenti negli accoppiamenti: aderenza e attrito, attrito nei perni, impuntamento; attrito volvente. ore 6

Componenti meccanici ad attrito. Freni: tipologie costruttive, tipi di accostamento, freni a pannello piano, a ceppi, a disco, a nastro. Innesti a frizione: piani, multidisco, conici. ore 11

La trasmissione del moto: giunti, cinghie, catene, funi, paranchi di sollevamento; ingranaggi cilindrici a denti dritti ed elicoidali, ingranaggi conici a denti dritti, forze scambiate negli ingranaggi; rotismi ad assi fissi, riduzione dei momenti di inerzia; rotismi epicicloidali semplici e composti; differenziale; vite e madrevite; vite senza fine e ruote elicoidali; vite a circolazione di sfere; forze scambiate nelle viti. ore 12

I sistemi meccanici: 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. ore 7

Riepilogo e chiarimenti per accertamento finale. ore 3

LABORATORI E/O 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.

Ferraresi, Raparelli, "Appunti di meccanica applicata" Ed CLUT, Torino.
 Jacazio, Piombo, "Meccanica applicata alle macchine" vol. I e vol. II, Ed. Levrotto & Bella, Torino.
 Jacazio, Piombo, "Esercizi di meccanica applicata alle macchine" Ed. 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. Il mancato superamento di entrambi gli scritti (assenza o non idoneità) presuppone la prova orale. Sia le prove scritte (durante il corso), sia le prove orali riguardano temi trattati sia a lezione, sia ad esercitazione.

Modalità di contatto con il docente.

- recapito ufficio: Dipartimento di Meccanica tel. 5646948, E-mail: sorli@polito.it
- orario di ricevimento: 2 ore settimanali, definite di semestre in semestre.
- ubicazione delle bacheche: piano terreno e IV piano

REQUISITI
 Fisica I
 Logica booleana e costruzione di espressioni logiche; architetture degli elaboratori elettronici

PROGRAMMA
 Dinamica: azioni di inerzia, riduzione delle forze di inerzia, equazioni di equilibrio della dinamiche; sistemi vibranti (oscillazioni libere e forzate); Riepilogo e chiarimenti prima dell'accertamento intermedio.

Forze agenti nei accoppiamenti aderenza e attrito attrito nei perni, impuntamenti, sfioro
 Componenti meccanici ad attrito: freno a dischetto, freno a disco, a nastro, innesti a frizione, giunti, giunti a
 no piano, a ceppi, a dischi, a nastro, innesti a frizione, giunti, giunti a
 la trasmissione del moto: giunti, cinghie, catene, giunti, giunti di sollevamento; innesti
 cilindrici a denti diritti ed elicoidali; innesti a denti diritti, innesti a denti
 ingranaggi; sistemi ad assi fissi; riduzione dei momenti di inerzia; sistemi epicicloidali
 e composti; differenziali; vite e mandrilli; vite senza fine e ruote elicoidali.

vite a circolazione di sfere; forze scambiate nelle vite.
 I sistemi meccanici: accoppiamento tra motori e macchine operatrici (motore a riduzione e car-
 co motore e frizione e cambio) sistemi a regime continuo; grado di ingranaggio del motore; vie
 topologiche e diagrammi per accertamento finale.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI
 Nel corso delle esercitazioni vengono svolti esempi illustrativi degli argomenti del corso, con
 particolare riferimento ad applicazioni pratiche. Normalmente i test delle esercitazioni vengono
 svolte con gli studenti in modo da verificare l'effettiva comprensione dei concetti e la
 capacità di applicare i concetti appresi in situazioni reali.

La prova di accertamento finale è una prova scritta, in cui lo studente deve dimostrare di
 aver acquisito le conoscenze teoriche e applicative relative ai temi trattati durante il corso.
 La prova è articolata in due parti: una parte teorica e una parte applicativa. La parte
 teorica consiste in una serie di domande a risposta multipla e a risposta breve, mentre la
 parte applicativa consiste in una serie di problemi da risolvere. La prova è valutata in
 trentesimi e il superamento è richiesto con un punteggio di almeno 18/30.

E2300 GEOMETRIA

Anno: 1

Periodo: 2

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docente: **Maria Teresa RIVOLO**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

- Vettori del piano e dello spazio. Vettori applicati e liberi, operazioni, componenti. [5 ore]
- Numeri complessi ed equazioni algebriche. Definizione di numero complesso, operazioni, rappresentazione. Principio di identità dei polinomi. Teorema fondamentale dell'algebra. [5 ore]
- Spazi vettoriali. Proprietà elementari, sottospazi, dipendenza lineare, basi. Spazi di matrici, calcolo matriciale. [10 ore]
- 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]
- 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]
- Spazi vettoriali con prodotto scalare. Spazi euclidei reali. Ortogonalità e basi ortonormali. Matrici ortogonali. Matrici simmetriche. Forme quadratiche. [4 ore]
- Geometria analitica del piano. Coordinate cartesiane e polari. La retta: rappresentazioni cartesiane 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]
- 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]
- Geometria differenziale delle curve. Curve regolari e biregolari. Triedro fondamentale. Ascissa curvilinea. Curvatura e torsione. Cerchio osculatore. Formule di Frenet. [6 ore]

LABORATORI E/O 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.

Geometria analitica del piano. Coordinate cartesiane e polari. La retta: rappresentazioni cartesiane e parametriche, parallelismo, angoli, fasci di rette. Distanza. Circonferenza: rappresentazioni cartesiane e parametriche. Coniche: forma generale e canonica, classificazione; tangente ad una conica in un suo punto. Coni sulla parabolica. [9 ore]

Geometria analitica dello spazio. Coordinate cartesiane, cilindriche, polari. Rette e piani: rappresentazioni parametriche, angoli, perpendicolarità; compattezza di due rette. Distanza. Superfici algebriche e circonferenze. Coni, cilindri, superfici di rotazione. Quadriche: equazioni canoniche e classificazione; piano tangente. [14 ore]

Geometria differenziale delle curve. Curve regolari e irregolari. Triangolo fondamentale. Adattarsi curvilinear. Curvatura e torsione. Cerchio osculatore. Formule di Frenet. [6 ore]

LABORATORI E/O 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 generatrici e di basi. Operazioni tra matrici. [6 ore]
4. Risoluzione e discussione sulla compattezza di sistemi lineari. Calcolo dell'inversa di una matrice. [4 ore]

E2740 IMPIANTI METALLURGICI

Anno 5 Periodo: 1
Impegno (ore) lezioni 70 esercitazioni 40 visite ad industrie 10.
Docente: **Prof. Mario ROSSO**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso ha lo scopo di far conoscere gli impianti industriali impiegati nella metallurgia estrattiva ed in tutte le operazioni 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 ha un carattere teorico-pratico e viene completato con alcune visite a Stabilimenti industriali utili a meglio evidenziare gli argomenti studiati.

REQUISITI

sono richieste nozioni di carattere metallurgico e di fisica tecnica.

PROGRAMMA

INGEGNERIA INDUSTRIALE: 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: normativa e schemi di distribuzione. Impianti di illuminazione: efficacia, progettazione e manutenzione. (12 ore)

TEORIA E TECNOLOGIA DEL TRASFERIMENTO DI MATERIA: 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. (16 ore)

TRASFERIMENTO DEL CALORE: 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. (16 ore)

IMPIANTI DI PRODUZIONE E FORMATURA: impianti per la produzione di atmosfere controllate, per il rivestimento e la spruzzatura. Impianti per la formatura: stampaggio, laminazio-

ne, estrusione, rifusione a zone, colata, pressocolata, iniezione, thixoforming e rheocasting. Impianti per produzione, elaborazione e compattazione delle polveri. Presse isostatiche. (8 ore)

INGEGNERIA AMBIENTALE: 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. (12 ore)

QUALITA' e GESTIONE: 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. (6 ore)

LABORATORIO E/O ESERCITAZIONI

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. Sviluppo di una esercitazione monografica relativa al progetto di un impianto completo per la produzione di materiali o di componenti. Le esercitazioni saranno completate da visite di istruzione a impianti industriali.

BIBLIOGRAFIA

Dispense fornite dal Docente.

W. Nicodemi, R. Zoja "Processi e Impianti siderurgici", Masson, Milano, 1980

A. Monte, "Elementi di Impianti Industriali", vol. I e II, Libreria Cortina, Torino.

ESAME

E' prevista la discussione dell'esercitazione monografica, seguita da una prova orale.

E3110 **MACCHINE**

Anno: 4 Periodo:1

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

Docente: **Matteo ANDRIANO**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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]

LABORATORI E/O 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 turbo-compressori: 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 prelude l'orale. La prova scritta viene effettuata nel giorno e ora previsto nel calendario ufficiale degli appelli.

E3180 MATERIALI METALLICI

Anno: 4 Periodo: 2
Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8 (ore settimanali)
Docente: **Bruno DEBENEDETTI**

PROGRAMMA

Riflessi sulle proprietà delle leghe del legame metallico, del tipo delle fasi presenti in lega, del loro reticolo cristallino e delle imperfezioni reticolari.

Interpretazione metallurgica dei principali diagrammi di stato dei sistemi metallici e conseguenti considerazioni e previsioni su proprietà e caratteristiche di impiego delle leghe corrispondenti.

Comportamento dei materiali metallici alle sollecitazioni nelle possibili condizioni di esercizio, in differenti condizioni di temperatura ed ambiente.

Influenza dei metodi di produzione e di trattamento sulle caratteristiche del semilavorato.

Trattamenti termici sui materiali metallici. Definizione, tecnica e modalità dei trattamenti. Trasformazioni di fase, loro cinetica e strutture conseguenti a trattamenti termici.

Trattamenti chimico-termici e di indurimento superficiale. Trattamenti di protezione superficiale dei metalli.

Acciai comuni e legati. Classificazioni unificate. Effetto degli elementi leganti sulle caratteristiche di impiego degli acciai. Tipologia degli acciai e delle leghe speciali in funzione dei campi di utilizzazione pratica. Materiali metalloceramici.

Ghise per getto. Ghise a grafite lamellare, nodulare, sferoidale. Ghise legate e trattamenti termici delle ghise.

Rame, ottoni, bronzi, bronzi speciali ed altre leghe a base di rame.

Alluminio, leghe per getto e leghe per trattamento termico.

Magnesio, titanio, zinco, piombo e loro leghe.

Cromo, nichel, manganese; altri metalli di transizione e leghe per impieghi particolari. Silicio, germanio. Metalli nobili. Metalli alcalini. Lantanidi e attinidi.

Materiali compositi a matrice metallica. Aderenza tra lega base e materiale di rinforzo.

Comportamento alle sollecitazioni. Accoppiamenti bimetallici.

BIBLIOGRAFIA

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

E3670 MISURE ELETTRONICHE

Anno: 4 Periodo: 2
Numero di ore settimanali: Lezione:6 Esercitazione Laboratorio:4
Docente: **Prof. Ernesto ARRI**, Dip. di Automatica e Informatica

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 garantire 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.

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

REQUISITI

- Elettrotecnica
- Elettronica applicata

PROGRAMMA

Organizzazione per la qualità dei prodotti

- Garanzia di qualità dei prodotti e dei servizi: salute, sicurezza, rispetto ambientale. Affidabilità, manutenibilità e disponibilità di un prodotto. Certificazione dei prodotti.
- Misurazione come sorgente dell'informazione nel controllo dei processi e nell'automazione della produzione. Fabbrica automatica: automazione totale. Necessità di misurazioni lungo l'intero ciclo produttivo: qualità totale. Sistemi di qualità aziendali.
- Norme per prodotti e servizi. Certificazione di conformità alle norme. Accredimento di laboratori di taratura e di prova. Organismi metrologici, normativi, di accredimento e di certificazione internazionali, europei e nazionali.

Misurazione e misura

- Livelli del processo conoscitivo sperimentale: caratterizzazione, classificazione, ordinamento, misurazione. Relazioni funzionali. Fenomeni fisici e relativi modelli. Grandezze misurabili. Fondamenti di teoria della misurazione.
- Unità di misura. Sistemi di unità di misura. Analisi storica critica sulla loro evoluzione. Sistema Internazionale di Unità (SI).
- Misurazione di grandezze fisiche e chimiche qualsiasi mediante trasduzione in grandezze elettromagnetiche. Importanza attuale delle misure elettromagnetiche. Definizione, realizzazione, riproduzione, mantenimento e disseminazione delle unità SI elettromagnetiche.
- Misura. Fascia di valore. Incertezza. Incertezza intrinseca. Compatibilità di più misure.
- Misurazione. Sistema misurato. Misurando. Segnale e rumore. Carico strumentale. Grandezze d'influenza: relativi campi.
- Procedimento logico operativo per la produzione di una misurazione
- Metodi di misurazione: diretti, indiretti, a letture ripetute. Metodi diretti: per indicazione e per confronto. Metodi per confronto: per opposizione e per sostituzione; differenziali e per azzeramento.

Incertezze di misura

- Normativa attuale sulla valutazione delle incertezze. Componenti d'incertezza: di categoria A, valutabili con metodi statistici, e di categoria B, valutabili con altri metodi.
- Elementi di teoria della probabilità. Fenomeni aleatori. Eventi. Probabilità: diretta, congiunta, subordinata. Eventi indipendenti. Variabili aleatorie (v.a.). Distribuzioni univariate di probabilità. Funzioni di ripartizione e di densità di probabilità. Momenti: valore medio, varianza, scarto tipo. Distribuzioni multivariate di probabilità. Covarianza. V.a. indipendenti. Teorema limite centrale.
- Elementi di statistica. Popolazioni di individui. Campioni statistici. Istogrammi. Momenti empirici. Variabili statistiche. Distribuzioni campionarie. Inferenze statistiche. Ipotesi statistiche. Stime puntuali e intervallari dei parametri teorici di una popolazione. Livelli di fiducia. Gradi di libertà.
- Valutazione delle componenti d'incertezza di categoria A e B nelle misurazioni dirette e indirette. Composizione delle incertezze. Incertezza composta. Incertezza globale.

Dispositivi per misurazione

- Apparecchi. Campioni: naturali e materiali. Strumenti: analogici e numerali. Rivelatori di zero. Catene per misurazione.
- Caratteristiche metrologiche dei dispositivi per misurazione. Lettura. Incertezza strumentale. Diagramma di taratura. Sensibilità. Risoluzione. Ripetibilità. Stabilità. Isteresi. Classe di precisione. Riferibilità di un dispositivo per misurazione.
- Componenti fondamentali di un dispositivo per misurazione. Trasduttori: sensori e attuatori. Attuatori elettromeccanici: magnetoelettrici, elettromagnetici, elettrodinamici, elettrostatici, a induzione. Attuatori elettrotermici. Condizionatori di segnali. Amplificatori di misura. Convertitori: c.a.-c.c., corrente-tensione, resistenza-corrente o tensione, A/D e D/A. Campionatori. Microprocessori. Visualizzatori: analogici e numerali. Tubi a raggi catodici.
- Principali strumenti analogici e numerali: amperometri, voltmetri (per valore: istantaneo, medio convenzionale, efficace, massimo), ohmetri, multimetri, wattmetri, contatori d'energia, alimentatori, generatori di funzioni, rivelatori, rivelatori sincroni, calibratori, trasformatori di misura (TA e TV), registratori, diagrammatori, oscillografi, analizzatori di segnali, frequenzimetri, strumenti "intelligenti", "strumenti "virtuali". Principali dispositivi per confronto: comparatori, potenziometri, ponti, impedenzimetri.
- Sensori: attivi e passivi. Caratteristiche generali. Principali tipi. Sensori integrati e "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.

LABORATORIO E/O ESERCITAZIONI

- Esercizi su regole di scrittura tecnico-scientifica secondo il sistema SI.
- Esercizi su cifre significative e riporto in tabelle e diagrammi di risultati di misura.
- Esercizi su compatibilità di più misure di un parametro nello stesso stato o in stati diversi.
- Elaborazione di risultati in misurazioni dirette e indirette.
- Valutazione delle incertezze nelle misurazioni eseguite in laboratorio.
- Visione sezionata e/o esplosa di campioni materiali e strumenti analogici e numerali.
- Esame critico di norme su strumenti elettrici ed elettronici.

- Interpretazione critica di manuali d'istruzione, cataloghi e certificati di taratura di strumenti.
- Stesura di certificati e diagrammi di taratura di strumenti.

LABORATORIO

- 1 - Rilievo voltamperometrico della caratteristica diretta-inversa di bipoli passivi anomali (diodi).
- 2 - Misurazioni in regime stazionario di resistenze di valore medio.
- 3 - Misurazioni di resistività massica di materiali conduttori e isolanti.
- 4/5 - Misurazioni mediante oscillografi analogici a doppia traccia.
- 6 - Misurazioni dei valori caratteristici di grandezze periodiche.
- 7 - Misurazioni di temperatura mediante termoresistori, termocoppie e termotrasduttori integrati.
- 8 - Misurazioni di deformazioni, forze e spostamenti mediante estensimetri, celle di carico e LVDT (trasformatori differenziali).
- 9 - Gestione automatica di strumentazione mediante elaboratore.
- 10 - Misurazioni dimostrative nei laboratori dei Settori Tempo-Frequenza, Metrologia Elettrica, Fotometria e Acustica dell'Istituto Metrologico Primario IEN.
- 11 - Misurazioni dimostrative nei laboratori del Settore Materiali dell'Istituto Metrologico Primario IEN.
- 12 - Misurazioni dimostrative nei laboratori dei Reparti Lunghezze, Masse-Volumi, Termometrico e Dinamometrico dell'Istituto Metrologico Primario IMGC.

BIBLIOGRAFIA

1. E. Arri, S. Sartori, "Le misure di grandezze fisiche", Paravia, Torino, 1984.
 2. Norma UNI 4546, "Misure e misurazioni. Termini e definizioni fondamentali", 1984.
- Testi ausiliari**
1. P. Galeotti, "Elementi di probabilità e statistica", Levrotto & Bella, Torino, 1983.
 2. Norma UNI-CEI 9, "Guida all'espressione dell'incertezza di misura", 1997.
 3. A. Calcatelli, C. Gentile, M. Ravagnan, "Il Sistema Internazionale di unità di misura. Attuale organizzazione internazionale e nazionale italiana della metrologia", M.S.M., Torino, 1984.
 4. Norma UNI 10003, "Sistema Internazionale di Unità (SI)", 1984.
 5. Politecnico di Torino, "Saper comunicare. Cenni di scrittura tecnico-scientifica", 1993.
 6. Documenti di aggiornamento sui vari argomenti sono forniti durante le lezioni e le esercitazioni.

ESAME

L'esame consiste, a scelta dell'allievo, in:

- o una *prova orale individuale* sull'intero programma di lezioni ed esercitazioni con *esame delle relazioni individuali* sulle esercitazioni di laboratorio;
 - o da un insieme costituito da:
 - una *prova scritta individuale*, in forma di questionario sull'intero programma;
 - una *prova di laboratorio di gruppo*, consistente nell'esecuzione di una misurazione attinente al programma di esercitazioni di laboratorio, integrata da una *discussione orale individuale* sulla misurazione stessa e dall'*esame delle relazioni individuali* sulle esercitazioni di laboratorio.
- La valutazione è, in ogni caso, una media ponderata dei risultati delle prove sostenute.

Modalità di contatto con il docente

E. Arri: Dip. di Automatica e Informatica, Tel. 564.7022

Orario di ricevimento studenti:

- Martedì: 10.30 - 12.30
- Venerdì: 10.30 - 12.30
- ovvero su appuntamento.

E4590 SCIENZA DEI MATERIALI

Anno 3: Periodo:1

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

Docente: **Carlo GIANOGGIO**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 sostituzionali. 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 uniaassiale 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 isotermitiche. 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 Guinier–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.

E4600 SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

Anno: 3

Periodo:1

Lezioni, esercitazioni, laboratorio informatico: 60 + 52 + 8 (ore nell' intero periodo)

Docente: **Enrico BALLATORE** (Collab. Antonio Brencich)

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 quale premessa alle applicazioni pratiche mediante esercitazioni individuali presso il Laboratorio Informatico.

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 sverglamento, lo snervamento e la frattura fragile.

Il corso comprende lezioni, esercitazioni in aula e nel Laboratorio Informatico.

REQUISITI

Analisi Matematica I e II, Fisica I.

PROGRAMMA

Sono previste tredici settimane di lezioni con un numero di *ore settimanali* variabile da quattro a sei secondo un calendario dettagliato distribuito all'inizio del corso.

- *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; circoli di Mohr; simmetria assiale e polare.
- *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.
- *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.
- *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.
- *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.
- *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.
 - *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.
 - *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;
 - *Lastre piane*: equazione di Sophie Germain; cenni al metodo delle differenze finite.
 - *Metodo degli Elementi Finiti*: Principio di Minimo dell'Energia Potenziale Totale, Costruzione delle matrici di rigidezza locale e globale mediante applicazione del Principio dei Lavori Virtuali; Condizioni di vincolo; Illustrazione dell'utilizzo di un programma di calcolo agli elementi finiti.
 - *Sistemi di travi iperstatici*: simmetria e anti-simmetria; 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).
 - *Risoluzione di telai piani iperstatici*: metodo degli spostamenti; distorsioni termiche; telai a nodi fissi; telai a nodi spostabili.
 - *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 flesso-torsionale.
 - *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.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Sono previste tredici settimane di esercitazioni con un numero di ore settimanali variabile da quattro a sei secondo un calendario dettagliato distribuito all'inizio del corso: oltre alle ore di effettiva attività didattica sono previste anche dodici ore per accertamenti sostitutivi dello scritto e per verifiche di apprendimento.

- 1 *Geometria delle aree*: calcolo delle caratteristiche geometriche di aree elementari; esercizi su figure composte.
- 2 *Cinematica dei sistemi di travi*: catene cinematiche e loro applicazione al calcolo reazioni vincolari.
- 3-4 *Sistemi di travi isostatici*: 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.
- 5-6 *Applicazione del Principio dei Lavori Virtuali alle travi elastiche*: determinazione degli spostamenti in strutture isostatiche; risoluzione delle strutture iperstatiche con distorsioni e spostamenti imposti.
- 7 *Esercitazioni riepilogative* su strutture isostatiche e iperstatiche con soluzione dei temi di

- esame degli anni precedenti relativi a tali argomenti.
- 8-9 *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.
- 10 *Esercitazione di Laboratorio Informatico*: introduzione all'uso del programma di calcolo basato sul metodo degli elementi finiti
Analisi della tensione e criteri di resistenza: rappresentazione degli stati di tensione con i circoli di Mohr, verifica complessiva delle sezioni; cenni sui criteri di sicurezza.
- 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 (contenente tutti gli argomenti svolti a lezione ed esercitazione):

A. Carpinteri, *Scienza delle Costruzioni*, Pitagora, Bologna, 1995.

Dispensa sull' utilizzo del programma ad elementi finiti, viene fornita durante il corso

Testo ausiliario:

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

ESAME

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.

Per sostenere la prova scritta lo studente deve esibire il tesserino universitario e lo statino; quest' ultimo sarà ritirato nel caso in cui lo studente consegna il proprio elaborato. La prova orale deve essere sostenuta nella stessa sessione di esami in cui è stato superato lo scritto.

Accertamenti sostitutivi della prova scritta.

Il superamento delle due prove di accertamento previste durante il corso sostituisce il compito scritto con validità sino alla fine dell'anno accademico in corso; le due prove sono costituite da:

1. due esercizi relativi a:

A una struttura isostatica,

B una struttura iperstatica da risolvere con l'applicazione del P.L.V;

2. due esercizi relativi a:

C una struttura iperstatica da risolvere con il metodo dei telai piani,

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

Ciascun esercizio pone due quesiti: le prove sono globalmente positive se sono stati risolti almeno i primi quesiti di tutti e quattro gli esercizi.

E4630 SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI

Anno: 4 Periodo: 1
Impegno (ore): lezioni 85 esercitazioni: 10 laboratori: 10
Docente: **Ignazio AMATO**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si prefigge di fornire una ampia panoramica sulla scienza e tecnologia dei materiali ceramici per applicazioni ingegneristiche, come rispecchia la sua organizzazione in tre grandi blocchi didattici: la scienza dei materiali ceramici, volta allo studio teorico della loro struttura e del comportamento, soprattutto meccanico; la tecnologia dei materiali ceramici, incentrata sui processi di produzione e trasformazione; la descrittiva dei principali materiali ceramici di interesse ingegneristico.

PROGRAMMA

Introduzione e classificazione dei ceramici. Applicazioni, potenzialità e mercato.

La scienza dei materiali ceramici: ordine cristallino, proprietà dei cristalli, strutture cristalline; solidi policristallini; microstruttura, ceramografia; i legami nei solidi, solidi ionici, covalenti, metallici e misti; comportamento superficiale dei solidi: energia superficiale, bagnabilità, capillarità, assorbimento, superficie dei solidi. Le proprietà dei ceramici: solidi duttili e solidi fragili; meccanica della frattura: tenacità e fatica; resilienza e durezza; comportamento termomeccanico; correlazione tra proprietà e microstruttura. La densificazione dei ceramici: i difetti nei solidi (di punto, di linea, di superficie) e la diffusione; sinterizzazione: generalità e meccanismi, stadi del processo, evoluzione della porosità; sinterizzazione multifase e multicomponenti; la pressatura a caldo.

La tecnologia dei materiali ceramici: polveri ceramiche, specifiche e caratteristiche; processi di fabbricazione industriali e speciali (sol-gel); additivi di processo e meccanismi d'azione; meccanica delle particelle e reologia; preparazione delle polveri preventiva alla formatura (trasporto, macinazione, mescolamento, lavaggio); granulazione e formatura a secco; formatura a plastico, estrusione, per colaggio; essiccamento, finitura, rivestimenti; cottura.

La descrittiva: confronto tra le caratteristiche delle varie classi di ceramici. Ceramici a base ossido; vetro, fibre di vetro e vetroceramici; ceramici a base nitruri, diamante policristallino; ceramici a base carburi, boruri e siliciuri. Cermet ed utensili da taglio. Rinforzi ceramici (fibre, whiskers,...); compositi ceramici e nanocompositi.

LABORATORI ED ESERCITAZIONI

Dopo alcune esercitazioni introduttive in aula, gli studenti, suddivisi in squadre a numero limitato, svolgeranno in laboratorio: analisi strutturale e microstrutturale; determinazione di proprietà meccaniche con applicazione della statistica di Weibull; caratterizzazioni delle polveri ceramiche: granulometria, area della superficie specifica; porosità di polveri e sinterizzati; valutazione della densità; analisi termiche e dilatometriche (a cura di Laura Montanaro)

BIBLIOGRAFIA

I. Amato, L. Montanaro, Lezioni dal corso: Vol. I, La scienza dei materiali ceramici, Cortina ed. 1996; Vol. II, La tecnologia dei materiali ceramici, Cortina ed., 1997; Vol. III, I materiali ceramici (in stampa)

J.S. Reed, Introduction to principles of ceramic processing, Pergamon press ed., 1995

I. Amato e L. Montanaro: Monografie varie

ESAME

Orale su tutto il programma oppure esonerò facoltativo in corso d'anno sulle due parti di scienza e tecnologia dei materiali ceramici ed infine esame orale sulla parte di descrittiva.

PRESANZIONE DEL CORSO
Scopo del corso è di fornire le conoscenze di base sulla struttura dei materiali polimerici, sulle loro proprietà e sulle loro tecnologie di trasformazione. A tale scopo vengono dapprima forniti elementi preobiettivi di chimica organica. Sono poi trattati i polimeri di uso generale, termoplastici e termoriscaldabili, con particolare riferimento alla loro preparazione e alle loro principali applicazioni in relazione con la struttura. Vengono infine illustrate le tecnologie di trasformazione dei materiali polimerici e le loro più importanti applicazioni industriali.

REQUISITI

Si richiede di avere superato l'esame di Chimica

PROGRAMMA

Nozioni di chimica organica. (16 ore)

La chimica del carbonio. Classificazione dei composti organici e delle loro principali reazioni, con particolare attenzione per i principali monomeri e per i gruppi funzionali presenti nei polimeri. Fenomeni di isomeria e stereoisomeria. Tecniche di analisi UV-Visibile, IR, NMR.

Reazioni di polimerizzazione. (18 ore)

Polimeri di policondensazione: schema del processo e controllo del peso molecolare (P.M.). Polimeri di poliadizione radicalica: condizioni operative, cinetica della reazione e controllo del P.M. Polimeri di poliadizione ionica. Polimerizzazione stereospecifica. Niessler-Natta.

Reazioni di copolimerizzazione. Tecniche industriali di polimerizzazione.

Struttura e caratterizzazione delle macromolecole. (14 ore)

Forze di coesione intermolecolari, regolarità e flessibilità della catena polimerica. Struttura supermolecolare: stato amorfo e stato cristallino. Reticoli polimerici, densità di reticolazione. Caratterizzazione termica: temperatura di fusione e temperatura di transizione vetrosa.

Proprietà dei materiali polimerici in massa. (12 ore)

Proprietà termiche: capacità termica, dilatazione, conducibilità. Proprietà meccaniche: rigidità, resistenza a trazione, resilienza. Comportamento viscoelastico dei polimeri: reologia dei polimeri fusi. Proprietà elettriche: conducibilità, costante dielettrica, fattore di dissipazione. Proprietà ottiche: indice di rifrazione, trasparenza. Vetro organico.

Materiali polimerici termoplastici e loro tecnologie di trasformazione. (12 ore)

Polimeri di impiego generale: poliolefine, polietilene, polivinilidene e polistirene, poliestere, poliammide, policarbonati. Produzione di gomme sintetiche.

Produzione industriali: additivi, cariche e compound; tecnologie di iniezione, estrusione, calendatura, termolaminatura, stampaggio rotazionale, spalmatura.

Materiali polimerici termoriscaldabili. (8 ore)

Polimeri, poliesteri inastati e altre principali classi di resine. Materiali polimerici espansi. Tecnologie di trasformazione e applicazioni.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Sono previste esercitazioni in aula a cadenza settimanale con applicazioni di calcolo sugli argomenti di lezione e nei esercitazioni sperimentali di laboratorio con equate a numero limitato di

Anno: 3

Periodo: 2

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

Docente: **Roberta BONGIOVANNI**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Scopo del corso è di fornire le conoscenze di base sulla struttura dei materiali polimerici, sulle loro proprietà e sulle loro tecnologie di trasformazione. A tale scopo vengono dapprima forniti elementi propedeutici di chimica organica. Sono poi trattati i polimeri di uso generale, termoplastici e termoindurenti, considerando la loro preparazione e le loro principali proprietà in relazione con la struttura. Vengono infine illustrate le tecnologie di trasformazione dei materiali polimerici e le loro più importanti applicazioni industriali.

REQUISITI

Si richiede di avere superato l'esame di Chimica

PROGRAMMA

Nozioni di chimica organica. (16 ore)

La chimica del carbonio. Classificazione dei composti organici e delle loro principali reazioni, con particolare attenzione per i principali monomeri e per i gruppi funzionali presenti nei polimeri. Fenomeni di isomeria e stereoisomeria. Tecniche di analisi UV- Visibile, IR, NMR.

Reazioni di polimerizzazione. (18 ore)

Polimeri di policondensazione: schema del processo e controllo del peso molecolare (P.M.)
Polimeri di poliaddizione radicalica: condizioni operative, cinetica della reazione e controllo del P.M.
Polimeri di poliaddizione ionica. Polimerizzazione stereospecifica Ziegler-Natta.
Reazioni di copolimerizzazione. Tecniche industriali di polimerizzazione.

Struttura e caratterizzazione delle macromolecole. (14 ore)

Pesi molecolari e loro distribuzione. Forze di coesione intermolecolari, regolarità e flessibilità della catena polimerica. Struttura supermolecolare: stato amorfo e stato cristallino. Reticoli polimerici, densità di reticolazione. Caratterizzazione termica: temperatura di fusione e temperatura di transizione vetrosa.

Proprietà dei materiali polimerici in massa (12 ore)

Proprietà termiche: capacità termica, dilatazione, conducibilità. Proprietà meccaniche: rigidità, resistenza a trazione, resilienza. Comportamento viscoelastico dei polimeri: reologia dei polimeri fusi. Proprietà delle gomme. Proprietà elettriche: conducibilità, costante dielettrica, fattore di dissipazione. Proprietà ottiche: indice di rifrazione, trasparenza. Vetri organici

Materiali polimerici termoplastici e loro tecnologie di trasformazione (12 ore)

Polimeri di impiego generale: poliolefine, polietilene, polivinilcloruro e polistirene, poliesteri, poliammidi, policarbonati. Produzione di gomme sintetiche.

Produzione industriale: additivi, cariche e compounding; tecnologie di iniezione, estrusione, calandratura, termoformatura, stampaggio rotazionale, spalmatura.

Materiali polimerici termoindurenti. (6 ore)

Poliuretani, poliesteri insaturi e altre principali classi di resine. Materiali polimerici espansi. Tecnologie di trasformazione e applicazioni.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Sono previste esercitazioni in aula a cadenza settimanale con applicazioni di calcolo sugli argomenti di lezione e sei esercitazioni sperimentali di laboratorio con squadre a numero limitato di

allievi. Queste ultime riguarderanno la caratterizzazione dei materiali polimerici e la valutazione delle loro proprietà meccaniche fondamentali: al termine di tali attività sarà richiesta la stesura di una breve relazione. Si effettueranno inoltre visite ad impianti di trasformazione di materie plastiche.

BIBLIOGRAFIA

Scienza e tecnologia delle macromolecole, AIM, Vol. I e II, Pacini, Pisa, 1983

F. Rodriguez, Principles of polymer systems, 4th ed., Taylor & Francis, New York, 1996

ESAME

Si svolgeranno due esoneri riguardanti la chimica organica e le reazioni di oligomerizzazione. L'esame finale consisterà in una prova orale relativa a tutto il restante programma del corso.

E5340 STRUTTURA DELLA MATERIA

Anno: 2 Periodo: 2
Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8 (ore settimanali)
Docente: **Piero MAZZETTI**

REQUISITI

Fisica 1 e 2.

PROGRAMMA

- *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.

- *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.

- *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.

- *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.

- *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.

- *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.

- *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.

- *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.

- *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.

- *Proprietà ottiche dei solidi.*

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

BIBLIOGRAFIA

Oltre alle 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.

PROGRAMMI
INSEGNAMENTI
D'ORIENTAMENTO

E0440**BIOMATERIALI**

Anno: 5

Periodo 1°

Impegno (ore):

lezioni 70,

esercitazioni e/o laboratori: 20.

Docente:

da nominare

PRESENTAZIONE DEL CORSO

L'insegnamento si propone di descrivere le problematiche relative allo studio, la progettazione, la caratterizzazione e l'utilizzo di materiali per applicazioni biomediche, correlandone la struttura e le proprietà con i possibili campi di utilizzo.

REQUISITI

Chimica, Scienza dei materiali. Durante il corso verranno trattati argomenti di fisiologia, ogniqualvolta l'argomento lo richieda.

PROGRAMMA**1. Aspetti generali**

Storia ed evoluzione della Scienza e tecnologia dei biomateriali - Attuali problematiche generali inerenti la progettazione e l'utilizzo dei materiali in campo biomedico e dei dispositivi medicali per applicazioni nei settori cardio-vascolare, ortopedico, dentale, oftalmologico, chirurgico, implantologico dei tessuti molli, organi artificiali. (6 ore)

2. Principali classi di biomateriali e relativi settori di impiego

Metalli e leghe - Polimeri - Ceramici bioinerti - Ceramici bioattivi - Vetri e vetroceramici bioattivi - Materiali a base di carbonio - Materiali compositi - Materiali biologici. Metodi di preparazione, lavorazione e caratterizzazione dei biomateriali. Relazioni fra la struttura e le proprietà di ogni classe di biomateriali con particolare riferimento alle problematiche relative ai singoli campi di impiego. (30 ore)

3. L'interazione materiale/sistema biologico

Definizione di Tossicità, Biocompatibilità e Bioattività: loro criteri di valutazione *in vivo* e *in vitro* - L'interfaccia fra i materiali protesici e i tessuti biologici - La risposta dei tessuti viventi all'impianto di materiali estranei. (8 ore)

4. Problemi di degrado dei biomateriali

Fenomeni di degradazione in ambiente biologico: meccanismi e manifestazioni cliniche dovuti a fenomeni di corrosione, rilascio, degradazione chimica e meccanica. Metodologie di indagine rivolte alla valutazione del degrado biologico. Metodi e trattamenti per migliorare le prestazioni degli attuali dispositivi biomedicali (20 ore)

5. Recenti sviluppi e prospettive nella ricerca di nuovi materiali per applicazioni biomediche. (4 ore)

6. Cenni sulle normative attualmente in vigore. (2 ore)

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Verranno organizzate esercitazioni di laboratorio riguardanti la caratterizzazione strutturale meccanica e di superficie di alcuni materiali utilizzati in campo biomedico (10).

Sono previste visite presso centri specializzati nello studio e la produzione di dispositivi biomedicali e incontri con esponenti del settore medico (10 ore).

BIBLIOGRAFIA

Dispense fornite dal docente

PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI D'ORIENTAMENTO

E0440 BIOMATERIALI

Anno: 5 Periodo 1°
Impegno (ore): lezioni 70, esercitazioni e/o laboratori: 20
Docente: da nominare

PRESENTAZIONE DEL CORSO

L'insegnamento si propone di descrivere le problematiche relative allo studio, la progettazione, la caratterizzazione e l'utilizzo di materiali per applicazioni biomediche, correlandone la struttura e le proprietà con i possibili campi di utilizzo.

REQUISITI

Chimica, Scienza dei materiali. Durante il corso verranno fornite alcune semplici nozioni basilari di fisiologia, ogniqualvolta l'argomento lo richieda.

PROGRAMMA

1. Aspetti generali

Storia ed evoluzione della Scienza e tecnologia dei biomateriali - Attuali problematiche generali inerenti la progettazione e l'utilizzo dei materiali in campo biomedico e dei dispositivi medicali per applicazioni nei settori cardio-vascolare, ortopedico, dentale, oftalmologico, chirurgico, implantologico dei tessuti molli, organi artificiali. (6 ore)

2. Principali classi di biomateriali e relativi settori di impiego

Metalli e leghe - Polimeri - Ceramiche bioinerti - Ceramiche bioattive - Vetri e vetroceramiche bioattive - Materiali a base di carbonio - Materiali compositi - Materiali biologici. Metodi di preparazione, lavorazione e caratterizzazione dei biomateriali.

Relazioni fra la struttura e le proprietà di ogni classe di biomateriali con particolare riferimento alle problematiche relative ai singoli campi di impiego. (30 ore)

3. L'interazione materiale/sistema biologico

Definizione di Tossicità, Biocompatibilità e Bioattività; loro criteri di valutazione *in vivo* e *in vitro* - L'interfaccia fra i materiali protesici e i tessuti biologici - La risposta dei tessuti viventi all'impianto di materiali estranei. (8 ore)

4. Problemi di degrado dei biomateriali

Fenomeni di degradazione in ambiente biologico: meccanismi e manifestazioni cliniche dovuti a fenomeni di corrosione, rilascio, degradazione chimica e meccanica. Metodologie di indagine rivolte alla valutazione del degrado biologico. Metodi e trattamenti per migliorare le prestazioni degli attuali dispositivi biomedicali (20 ore)

5. Recenti sviluppi e prospettive nella ricerca di nuovi materiali per applicazioni biomediche. (4 ore)

6. Cenni sulle normative attualmente in vigore. (2 ore)

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Verranno organizzate esercitazioni di laboratorio riguardanti la caratterizzazione strutturale meccanica e di superficie di alcuni materiali utilizzati in campo biomedico (10).

Sono previste visite presso centri specializzati nello studio e la produzione di dispositivi biomedicali e incontri con esponenti del settore medico (10 ore).

BIBLIOGRAFIA

Dispense fornite dal docente

Ogni studente sarà invitato, a fine corso, a presentare una breve tesina monografica nella quale approfondirà un argomento a scelta attinente al programma svolto. La valutazione si baserà su una verifica orale, che terrà conto, oltre che della preparazione del candidato, della partecipazione dimostrata durante il corso e della qualità della tesina presentata.

PRESENTAZIONE DEL CORSO

L'insegnamento si propone di descrivere le problematiche relative allo studio, la progettazione, la caratterizzazione e l'utilizzo di materiali per applicazioni biomediche, correlandone la struttura e le proprietà con i possibili campi di utilizzo.

REQUISITI

Chimica, Scienza dei materiali. Durante il corso verranno fornite alcune semplici nozioni basilari di fisiologia, ogniqualvolta l'argomento lo richieda.

PROGRAMMA**I. Aspetti generali**

Storia ed evoluzione della scienza e tecnologia dei biomateriali - Attuali problematiche generali inerenti la progettazione e l'utilizzo dei materiali in campo biomedico e dei dispositivi medici per applicazioni nei settori cardio-vascolare, ortopedico, dentale, oftalmologico, chirurgico, impiantologico dei tessuti molli, organi artificiali. (6 ore)

2. Principali classi di biomateriali e relativi settori di impiego
Metalli e leghe - Polimeri - Ceramiche bioattive - Vetri e vetroceramiche bioattive - Materiali a base di carbonio - Materiali compositi - Materiali biologici.
Metodi di preparazione, lavorazione e caratterizzazione dei biomateriali.

Relazioni fra la struttura e le proprietà di ogni classe di biomateriali con particolare riferimento alle problematiche relative ai singoli campi di impiego. (30 ore)

3. L'interazione materiale/sistema biologico
Definizione di biocompatibilità e biotattività; loro criteri di valutazione in vivo e in vitro - L'interfaccia fra i materiali protesici e i tessuti biologici - La risposta dei tessuti viventi all'impianto di materiali estranei. (8 ore)

4. Problemi di degrado dei biomateriali
Fenomeni di degradazione in ambiente biologico: meccanismi e manifestazioni cliniche dovuti a fenomeni di corrosione, rilascio, degradazione chimica e meccanica. Metodologie di indagine rivolte alla valutazione del degrado biologico. Metodi e trattamenti per migliorare le prestazioni degli attuali dispositivi biomedicali. (20 ore)

5. Recenti sviluppi e prospettive nella ricerca di nuovi materiali per applicazioni biomediche. (4 ore)

6. Cenni sulle normative attualmente in vigore. (2 ore)

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Verranno organizzate esercitazioni di laboratorio riguardanti la caratterizzazione strutturale meccanica e di superficie di alcuni materiali utilizzati in campo biomedico (10).

Sono previste visite presso centri specializzati nello studio e la produzione di dispositivi biomedici e incontri con esponenti del settore medico (10 ore).

BIBLIOGRAFIA

Dispense fornite dal docente

EA720 COMPLEMENTI DI STRUTTURA DELLA MATERIA

Anno 5 Periodo :1°

Lezioni : 6 ore settimanali

Docente: **Tullio REGGE**

BIBLIOGRAFIA

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso è complementare al corso di Struttura della Materia del II anno e si propone di approfondire alcuni aspetti fondamentali delle proprietà fisiche dei solidi sviluppate a livello introduttivo nel corso di Struttura della Materia.

REQUISITI

Analisi matematica I e II, Fisica I e II, Struttura della Materia

PROGRAMMA

1. *Proprietà vibrazionali dei solidi.* Vibrazioni reticolari, diffrazione da un cristallo ideale, fononi, fenomeni anarmonici, scattering fonone-fonone.
2. *Stati elettronici nei solidi.* Aspetti generali della struttura a bande, modelli per il calcolo della struttura a bande, interazione elettrone-elettrone e proprietà elettroniche statiche nei semiconduttori, dinamica degli elettroni, scattering da impurezze, interazione elettrone-fonone.
3. *Proprietà di trasporto.* Equazione di Boltzmann, conducibilità elettrica, scattering da impurezze, mobilità dei portatori, conducibilità termica, effetti termoelettrici, effetto Hall.
4. *Proprietà ottiche dei solidi.* Teoria semiclassica, dispersione ed assorbimento, transizioni interbanda dirette e indirette, interazione con gli elettroni di conduzione.
5. *Proprietà magnetiche dei solidi.* Richiami generali e sviluppo del modello di Ising.

BIBLIOGRAFIA

Il corso è basato per la maggior parte sul testo: *Principi della teoria dei solidi* di J.M.Ziman. Altri libri per argomenti specifici trattati durante il corso verranno indicati al momento.

E0910 CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI METALLICI

Anno: 5

Periodo: 2

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

Docente: **Mario MAJA**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 impresses. 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 camera 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.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vengono svolte discutendo vari casi di corrosione raccolti nel corso degli anni dal laboratorio. Vengono altresì proiettate videocassette edite 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.

BIBLIOGRAFIA

Michael Shirn, *Physics of semiconductor devices*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
Copie dei lucidi presentati a lezione e degli appunti degli studenti.
Testi ausiliari:
S. Selberherr, *Analytical and Simulation of Semiconductor Devices*, Springer, 1989.

ESAME

Consiste nell'svolgimento di un progetto di un sistema di un dispositivo.

E1445

DISPOSITIVI ELETTRONICI 2 + ELETTRONICA DELLO STATO SOLIDO

(Corso integrato)

Anno: 5

Periodo: 2

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8 (ore settimanali); 60 (nell'intero periodo)

Docente:

G. GHIONE

DISPOSITIVI ELETTRONICI 2

Il corso segue il corso di Dipositivi Elettronici I, da un lato affinando gli strumenti di indagine sui dispositivi, dall'altro estendendo l'esame dei dispositivi verso quelli impiegati nelle applicazioni ad alta frequenza nelle telecomunicazioni e alle frequenze ottiche. Il corso è pensato specificatamente per Ingegneria dei Materiali e quindi i prerequisiti sono quelli conseguibili attraverso gli insegnamenti previsti nel corso di Laurea.

PROGRAMMA

- *Cenni di meccanica quantistica.* Equivalenza pacchetto d'onde-particella. Distribuzioni di Maxwell, di Bose-Einstein e di Fermi-Dirac. Hamiltoniana del sistema. [12 ore]
- *Elettrone in un reticolo.* Teorema di Bloch. Modello di Kronig-Penney. [8 ore]
- *Semiconduttori per applicazioni in alta frequenza.* Proprietà dei semiconduttori composti. Eterostrutture: adattamento reticolare e strati sotto tensione. Leghe ternarie e quaternarie. [6 ore]
- *Fenomeni di trasporto.* Condizioni di non equilibrio. Collisioni con impurità ionizzate e con vibrazioni reticolari. Fononi acustici e ottici. Interazione elettrone-fotone. Curva velocità-campo. [8 ore]
- *Dispositivi a effetto di volume:* diodi gun. Mobilità differenziale negativa. Operazioni con circuito risonante. Tecniche di progetto di oscillatori a resistenza negativa. [4 ore]
- Principi generali sul rumore nei dispositivi. Rumore termico e di diffusione. [3 ore]
- Fenomeni di *breakdown*: soglia per la valanga. Dispositivi a valanga e tempo di transito. Diodi IMPATT. Tecnologia del dissipatore integrato. [4 ore]
- MESFET all'arseniuro di gallio [2 ore]
- *Dispositivi a superreticolo: "multi-quantum well"* e modulazione del drogaggio; HEMT, pseudo-morfici; transistori bipolari a eterogiunzione HBT. Dispositivi a *tunneling risonante*. [4 ore]
- Fenomeni di generazione-ricombinazione. Centri di ricombinazione; teoria SRH [4ore]
- Dispositivi optoelettronici: Fotorivelatori: fotoconduttore, fotodiodi. [4 ore]

BIBLIOGRAFIA

Micheal Shur, *Physics of semiconductor devices*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1990
Copie dei lucidi presentati a lezione vengono distribuite agli studenti.

ESAME

Durante il semestre viene data la possibilità con una prova di esonero di superare la parte relativa a questo modulo.

ELETRONICA DELLO STATO SOLIDO

Anno: 5 Periodo: 2
Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4+4 (ore settimanali)
Docente: **Giovanni GHIONE**

Negli ultimi anni la simulazione numerica dei dispositivi elettronici allo stato solido è divenuta uno strumento indispensabile nella ideazione e progettazione dei dispositivi a semiconduttore ed è una componente fondamentale del cosiddetto CAD Tecnologico (TCAD). Il corso si propone di offrire una introduzione all'analisi e alla simulazione numerica di dispositivi elettronici convenzionali e avanzati mediante modelli fisici. Dopo una introduzione ai modelli fisici di dispositivi a semiconduttore, ai loro parametri, e ad aspetti avanzati sia dei modelli (modelli di trasporto non stazionario) che delle strutture (dispositivi ad eterostruttura) vengono trattati gli aspetti numerici della simulazione di dispositivi elettronici, necessari ad orientare i possibili utenti di programmi TCAD. Vengono infine proposti progetti su calcolatore da condursi mediante l'uso di strumenti TCAD.

REQUISITI

Dispositivi elettronici I, consigliato Dispositivi Elettronici II

PROGRAMMA

Il CAD tecnologico: simulazione di processo, dei dispositivi, circuitale. Problemi di interfacciamento fra fasi successive. Modelli fisici di semiconduttori. Il modello di deriva-diffusione. Parametri fisici del modello: proprietà di trasporto, fenomeni di RG. Richiami sulla struttura a bande dei semiconduttori e sulle proprietà statistiche in equilibrio e fuori equilibrio. Eterostrutture e dispositivi a eterostruttura. Trasporto parallelo e ortogonale in eterostrutture. Esempi di dispositivi a eterostruttura: HEMT, HBJT, LASER.

Modelli di trasporto non stazionario. L'equazione di Boltzmann. Il modello idrodinamico. Modelli di trasporto di energia. Modello di deriva-diffusione come caso limite. Parametri fisici del modello idrodinamico.

Il modello idrodinamico nei semiconduttori a più valli. *Overshoot* di velocità nei GaAs e InP. Il trattamento numerico dei modelli fisici. Il modello fisico in equilibrio termodinamico: l'equazione di Poisson-Boltzmann. Soluzione mediante differenze finite generalizzate. Discretizzazione del modello di deriva-diffusione: lo schema di Scharfetter-Gummel. Analisi DC, di piccolo segnale, tempovariante. Analisi speciali; analisi di rumore, analisi di *sensitivity*. Discretizzazione numerica di modelli idrodinamici.

BIBLIOGRAFIA

Vengono forniti appunti del docente che coprono tutti gli argomenti del corso.

Testi ausiliari:

S. Selberherr, *Analysis and Simulation of Semiconductor Devices*, Springer 1985

J. Singh, *Physics of Semiconductors and their heterostructures*, McGraw-Hill 1993

ESAME

Consiste nello svolgimento e nella discussione orale di un progetto di simulazione numerica di dispositivi.

E1994

FISICA DELLE SUPERFICI

(Corso ridotto)

Anno: 5

Periodo: 2

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4 (ore settimanali) per un totale di 50 ore

Docente: **Elena TRESSO**

Docente: **G. GHIONE**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Lo scopo del corso è quello di fornire una panoramica dei moderni problemi di fisica delle superfici, delle interfacce e dei processi di adsorbimento. La superficie viene affrontata come una fase ben distinta della materia e ne vengono analizzate le principali proprietà chimiche, strutturali, elettroniche e ottiche. Viene inoltre presentata una descrizione operativa di alcune tecniche sperimentali 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]
- La superficie dal punto di vista chimico: individuazione delle specie atomiche superficiali con tecniche spettroscopiche (Auger, Spettroscopia SIMS). [6 ore]
- Forma e struttura delle superfici: approccio termodinamico, tensione superficiale; la disposizione degli atomi in prossimità di superfici e interfacce, 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. [12 ore]
- Le proprietà elettroniche di superfici e interfacce: teoria delle bande unidimensionale e tridimensionale; stati di Schockley e di Tamm; la funzione lavoro; 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). [4 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]
- Proprietà ottiche: riflessione e rifrazione; eccitazioni elementari: eccitoni e plasmoni, fononi di superficie. [4 ore]

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

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

ESAME

L' esame consiste in una prova orale, suddivisa in due parti: una lezione di 15-20 minuti su un argomento scelto dal candidato; alcune domande su argomenti svolti durante il corso.

REQUISITI

Nozioni di base di fisica e dispositivi elettronici.

PROGRAMMA

Studio quantitativo dei fenomeni di propagazione nelle guide dielettriche planari (attenuate e a gradiente di indice) ed a confinamento trasversale e nelle fibre ottiche.

Cenni sulle guide dielettriche per componenti optoelettronici integrati in materiali semiconduttori, tecnologia di litio ed alle tecnologie di fabbricazione.

Vetri per la fotonica: fondamenti su materiali e tecniche di fabbricazione e caratterizzazione, scambio ionico e caratterizzazione guide.

Formulazione degli effetti di interazione in guide dielettriche integrate e formulazione tramite la teoria dell'accoppiamento modale.

Sorgenti ed amplificatori in materiali semiconduttori: LED; strutture caratteristiche statiche e dinamiche.

Laser Fabry-Pérot, DBR e DFB; equazioni di bilancio, caratteristiche statiche e dinamiche, monomodalità, larghezza riga, effetti di saturazione.

Amplificatori ottici in materiali semiconduttori e loro uso anche come interruttori, commutatore, convertitori di lunghezza d'onda, etc.

Laser ad emissione a cavità verticale: strutture e caratteristiche.

Dispositivi attivi in fibre e guide ottiche drogati con terre rare: pompaggio ottico, formulazione problema, amplificatori, laser.

Dispositivi elettro-ottici integrati: effetto elettroottico nei cristalli ed agli altri effetti usati nei materiali semiconduttori, strutture di modulatori di ampiezza e fase, con elettrodi.

Dispositivi acusto-ottici integrati: concentrati ed in onda continua; commutatori, etc.

Dispositivi acusto-ottici integrati: principi, materiali, formulazione interazione acusto-ottica, deflettori di fascio, filtri sintonizzabili, analizzatore di spettro.

Integrazione optoelettronica e fotonica: prospettive, integrazione ibrida e monolitica, relaxazioni, QED, PIC.

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Non esiste una separazione fra esercitazioni e lezioni. Nei laboratori verranno mostrate le tecniche di fabbricazione e caratterizzazione dei vetri e guide per fotonica e l'utilizzazione di strumentazione ottica per la caratterizzazione di laser a semiconduttore.

EA560

FOTONICA

Anno: 4 o 5 periodo: 2
Impegno (ore): lezioni/esercitazioni: 60 laboratori: 12
Docente: Ivo MONTROSSET

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Obiettivi di questo corso sono: fornire le basi di elettromagnetismo per lo studio e la comprensione dei fenomeni dell'ottica integrata, completare le conoscenze relative ai materiali e tecnologie sui materiali per la fotonica, arrivare ad un modello quantitativo utile per la progettazione di componenti ottici ed optoelettronici integrati.

Rilevanza viene data ai problemi piu' ingegneristici di carattere realizzativo ed applicativo.

REQUISITI

Nozioni di base di fisica e dispositivi elettronici.

PROGRAMMA

Studio quantitativo dei fenomeni di propagazione nelle guide dielettriche planari (stratificate e a gradiente di indice) ed a confinamento trasversale e nelle fibre ottiche.

Cenni sulle guide dielettriche per componenti optoelettronici integrati in materiali semiconduttori, Niobato di Litio ed alle tecnologie di fabbricazione.

Vetri per la fotonica: fondamenti su materiali e tecniche di fabbricazione e caratterizzazione, scambio ionico e caratterizzazione guide.

Formulazione degli effetti di interazione in guide dielettriche integrate e formulazione tramite la teoria dell'accoppiamento modale.

Sorgenti ed amplificatori in materiali semiconduttori:

LED: strutture, caratteristiche statiche e dinamiche.

Laser Fabry-Perot, DBR e DFB: equazioni di bilancio, caratteristiche statiche e dinamiche, monomodalita, larghezza riga, effetti di saturazione.

Amplificatori ottici in materiali semiconduttori e loro uso anche come interruttore, commutatore, convertitore di lunghezza d'onda, etc.

Laser ad emissione e a cavità verticale: strutture e caratteristiche.

Dispositivi attivi in fibre e guide ottiche drogate con terre rare:

pompaggio ottico, formulazione problema, amplificatori, laser

Dispositivi elettro-ottici integrati:

effetto elettroottico nei cristalli ed agli altri effetti usati nei materiali semiconduttori, strutture di modulatori di ampiezza e fase, con elettrodi

concentrati od in onda continua; commutatori, etc.

Dispositivi acusto-ottici integrati:

principi, materiali, formulazione interazione acusto-ottica, deflettori di fascio, filtri accordabili, analizzatore di spettro.

Integrazione optoelettronica e fotonica:

prospettive, integrazione ibrida e monolitica, realizzazioni, OEIC, PIC

LABORATORI E/O ESERCITAZIONI

Non esiste una separazione fra esercitazioni e lezioni.

Nei laboratori verranno mostrate le tecniche di fabbricazione e caratterizzazione dei vetri e guide per fotonica e l'utilizzazione di strumentazione ottica per la caratterizzazione di laser a semiconduttore.

BIBLIOGRAFIA

Viene distribuito materiale sotto forma di appunti e fatto riferimento a capitoli di libri ed articoli.

ESAME

L'esame e' orale.

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 strutturati 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

Scienze delle costruzioni, tecnologia dei materiali metallici.

PROGRAMMA

- Richiami sullo stato di tensione e sulle ipotesi di rottura, modalità di cedimento del materiale. [8 ore]
- Fattori di concentrazione delle tensioni in campo elastico e in campo plastico. [8 ore]
- 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]
- Fattore 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 tenacità-corrosione. [8 ore]
- Avvicinamento all'apice di una cricca (COD-CIOD), curve di resistenza (curve R); interazione fra i controlli non distruttivi e catalogazione dei difetti. [10 ore]
- Fatica: approccio alla fatica con la meccanica della frattura; legge di Paris, il fenomeno del ritardo. Aspetti micro- e macroscopici della fatica. [8 ore]
- Fatica ad alto numero di cicli: diagrammi S-N, 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]
- Fatica oligociclica e approccio a due stadi: equazione di Manson Coffin. [4 ore]
- Fatica multiasiale: approcci classici e approccio tipo piano critico. [4 ore]

LABORATORIO E/O 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]

E3265**MECCANICA DEI MATERIALI +
METALLURGIA MECCANICA**

Anno: 4 e 5

periodo: 2

Anno: 5

(Corso integrato)
Periodo: 1

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

Docenti:

Donato FIRRAO, Massimo ROSSETTO**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

- Richiami sullo stato di tensione e sulle ipotesi di rottura, modalità di cedimento dei materiali. [8 ore]
- Fattori di concentrazione delle tensioni in campo elastico e in campo plastico. [8 ore]
- 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]
- 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]
- Arrotondamento all'apice di una cricca (COD-CTOD), curve di resistenza (curve R); integrale J ; cenni di meccanica della frattura elastoplastica. [8 ore]
- Controlli non distruttivi e catalogazione dei difetti. [10 ore]
- Fatica: approccio alla fatica con la meccanica della frattura; legge di Paris, il fenomeno del ritardo. Aspetti micro- e macroscopici della fatica. [8 ore]
- 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]
- Fatica oligociclica e approcci a due stadi: equazione di Manson Coffin. [4 ore]
- Fatica multiaassiale: approcci classici e approcci tipo piano critico. [4 ore]

LABORATORIO E/O 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]

E3880**OTTICA**

Anno: 5

Periodo: 2

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

Docente:

Elio MIRALDI**PRESENTAZIONE DEL CORSO**

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

- 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*.
- 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. Lunghezza di coerenza, tempo di coerenza. Calcolo della *visibility* per alcune tipiche distribuzioni spettrali. Relazione di reciprocità.
- 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.
- 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.
- 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.
- La polarizzazione delle onde luminose. Interferenza di onde polarizzate. Superfici d'onda in mezzi birifrangenti. 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.
- 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. Trasmittanza 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.
- 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.

- 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.

LABORATORIO E/O 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.

E4370 PROPRIETÀ TERMOFISICHE DEI MATERIALI

Anno: 5

Periodo: 2

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

Docente: **Giuseppe RUSCICA**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

- *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.

- *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.

- *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.

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

Modello di Horrocks e McLaughlin.

Modello di Rice e Kirkwood.

Principio degli stati corrispondenti.

- *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.

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

Conduttività termica elettronica.

Conduttività termica fononica.

Resistività termica intrinseca e resistività termica residua.

La conduttività termica dei metalli reali.

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

Conduttività del reticolo.

Comportamento ad alta temperatura.

Comportamento a bassa temperatura.

- *Boundary resistance.* Imperfezioni reticolari.

Semi-metalli, semiconduttori, solidi amorfi.

Materiali porosi. Contributo fononico.

Effetto della pressione. Cenni sulla conduttività reticolare nelle leghe.

- *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.

- *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.

- *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.

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

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

Interazione H_2 – metallo. Cenni alle teorie dell'orbitale molecolare e delle bande e legami di superficie.

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

- *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.

- *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.

- *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.

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

Dilatazione massica lineare e cubica.

Swelling.

LABORATORIO E/O ESERCITAZIONI

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

2. 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]

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

4. Tecniche di misura delle proprietà termotiche dei materiali semitrasparenti. Misure del coefficiente di estinzione e della trasmisività di materiali porosi. Analisi dei risultati. [4 ore]

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

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

7. Tecniche di misura del coefficiente di dilatazione dalla temperatura ambiente a temperature criogeniche. Misure capacitivie e interferometriche su campioni metallici. Analisi dei risultati. [8 ore]

8. 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.

E4640 SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI COMPOSITI

Anno 5 Periodo I Impegno (ore) lezioni: 78 esercitazioni e laboratori: 26 Docente: **Prof. Francesco MARINO**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

I materiali compositi sono caratterizzati dal possedere propriet... meccaniche, fisiche, chimiche modulabili in funzione delle esigenze primarie della struttura complessiva, offrendo cos_ all'ingegnere diversificate soluzioni progettuali.

Il corso propone principi fondamentali, criteri progettuali, tecnologie di processo, propriet... micro e macroscopiche per questa innovativa classe di materiali.

REQUISITI

Scienza dei Materiali; Scienza e Tecnologia dei Materiali ceramici; Scienza e Tecnologia dei Materiali polimerici; Materiali Metallici.

PROGRAMMA

1. Generalit... e peculiarit... dei materiali compositi (4ore)
2. Rinforzanti e interfacce (14 ore)
3. Compositi a matrice metallica (10 ore)
4. Compositi a matrice ceramica (8 ore)
5. Compositi a matrice polimerica (16 ore)
6. Compositi con intermetallici (2 ore)
7. Sforzi, deformazioni e matrici di rigidità (8 ore)
8. Compositi a fibre corte (4 ore)
9. Meccanismi di frattura e tenacizzazione (6 ore)
10. Resistenza all'impatto, fatica, interazione con l'ambiente, 'joining', controlli non distruttivi (4 ore)
11. Trattazione di casi importanti di progettazione e utilizzo (4 ore)

LABORATORI E ESERCITAZIONI

Esercitazioni numeriche sui punti 7 e 8 del programma

Laboratori sulle tecniche preparative di alcuni compositi e esecuzione su di essi di prove meccaniche

BIBLIOGRAFIA

F.L. Matthews and R.D. Rawlings: "Composite Materials: Engineering and Science" Ed. Chapman & Hall.

R. Naslain: "Introduction aux matériaux composites " 3 volumi Editions du C.N.R.S.

ESAME

Solo orale: alla formulazione del voto finale concorrer... anche la valutazione di una possibile ricerca monografica

E4682 SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI POLIMERICI 2

Anno: 5

Periodo: 2

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 5+2 (ore settimanali), 65+26 (nell'intero periodo)

Docente: **Aldo PRIOLA**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di approfondire le conoscenze sui materiali polimerici, con particolare riguardo ad applicazioni di tipo specialistico e in settori avanzati. Verranno esaminate le correlazioni tra le proprietà e la struttura molecolare e la morfologia di questi materiali, nonché le tecnologie di trasformazione impiegate nei diversi settori applicativi.

REQUISITI

Si richiede di avere superato l'esame di Scienza e Tecnologia dei Materiali Polimerici I

PROGRAMMA

Proprietà fisiche e termo-meccaniche dei polimeri. (12 ore).

Forze di coesione nei materiali polimerici, parametro di solubilità, metodi di calcolo. Struttura e morfologia dei polimeri: strutture amorfe, mesomorfe e cristalline. Transizioni e rilassamenti nei polimeri. Fattori che influenzano Tg e Tf. Cristalli liquidi polimerici. Comportamento dei polimeri a basse deformazioni: creep, rilassamento degli sforzi. Tecniche di analisi dinamo-meccanica. Proprietà viscoelastiche. Variazione delle proprietà meccaniche in funzione della temperatura e del tempo; equazione WLF. Comportamento ad elevate deformazioni. Snervamento e frattura. Tecniche di antiurtizzazione dei polimeri.

Materiali polimerici con elevate proprietà termiche e meccaniche. (8 ore)

Esame delle strutture polimeriche aventi elevate proprietà termomeccaniche. Relazioni struttura-proprietà. Esame dei principali tecnopolimeri industriali cristallini ed amorfi: poliacetali, nylons, poliesteri, policarbonati, polifenilenoossido. Tecnopolimeri avanzati: proprietà, tecnologie di trasformazione e principali settori applicativi. Polisolfoni, poliimmidi, polifenilensolfuro, polieterchetoni.

Polimeri con alta resistenza chimica, all'ambiente e all'invecchiamento. (9 ore)

Meccanismi di degradazione termica, fotochimica e ossidativa nei polimeri. Additivi per la stabilizzazione. Combustione e ritardo alla fiamma. Additivi ritardanti di fiamma. Strutture polimeriche con elevata stabilità termica e chimica. Polimeri fluorurati: plastomeri, gomme, rivestimenti fluorurati. Polimeri siliconici: olii, gomme, resine silconiche: tecniche di reticolazione. Elastomeri speciali.

Materiali polimerici per impiego nel campo delle vernici, dei film barriera e degli adesivi. (12 ore)

Proprietà dei polimeri per film, vernici e rivestimenti protettivi. Principali classi di polimeri per questi impieghi: resine acriliche, epossidiche, uretaniche. Tecnologie di applicazione e reticolazione. Polimeri per film barriera: permeazione di gas e di liquidi attraverso film polimerici e meccanismi di diffusione. Meccanismi di adesione dei polimeri con i diversi substrati. Adesivi reversibili e strutturali: tipi di polimeri e tecnologie d'impiego. Trattamenti superficiali sui materiali polimerici: fiamma, scarica corona, plasma.

Polimeri per impiego in campo elettrico ed elettronico. (10 ore)

Proprietà elettriche dei polimeri in relazione alla struttura: polimeri isolanti, semiconduttori, conduttori. Tecniche di drogaggio. Polimeri per optoelettronica. Polimeri piezoelettrici.

Tecnologie dei polimeri per l'elettronica: circuiti stampati, fotolitografia, tecniche di fotoreticolazione e fotodegradazione

Materiali polimerici per l'ottica. (4 ore)

Proprietà ottiche dei polimeri. Lenti in materiale polimerico. Proprietà ottiche non lineari in relazione con la struttura: polimeri per fibre ottiche. Display a cristalli liquidi.

Miscela e leghe polimeriche (4 ore)

Criteri di miscibilità tra materiali polimerici. Morfologia di miscela e dispersioni polimeriche. Additivi interfacciali. Esempi di blends industriali, proprietà ed impieghi.

Materiali polimerici e ambiente. (6 ore)

Tecnologie di riciclo e smaltimento dei rifiuti plastici. Riciclo meccanico e chimico. Pirolisi e impiego dei rifiuti polimerici come combustibile.

BIBLIOGRAFIA

D.W. Van Krevelen, *Properties of Polymers*, Elsevier Publ. Amsterdam, 3rd ed., 1990

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

Appunti delle lezioni forniti dal docente.

ESAME

L'esame consiste in una prova orale relativa a tutto il programma del corso.

LABORATORIO E/O ESERCITAZIONI

Sono previste sia esercitazioni in aula con esemplificazioni e applicazioni di calcolo sugli argomenti di lezione sia esercitazioni sperimentali di laboratorio con squadre a numero limitato di allievi. Si effettueranno visite ad impianti di trasformazione di materie plastiche e a laboratori di ricerca in settori specialistici dei materiali polimerici.

MODALITÀ DI CONTATTO CON I DOCENTI

Prof. A.Priola - Dipartimento di scienza dei materiali e Ingegneria Chimica

Tel. 5644656 - ricevimento studenti lunedì 14.30-16.30

E-Mail: Priola@fenice.polito.it

E4780

SIDERURGIA

Anno: 4

Periodo:1

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

Docente:

D. FIRRAO

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

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

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

LABORATORIO E/O 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 Kompass, 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.

BIBLIOGRAFIA

ESAME

Il corso si svolgerà con lezioni, integrate da esami di schemi costruttivi di impianti ed apparati costruttivi e di strutture, con esercitazioni pratiche e di laboratorio, e di prove scritte di tipo applicativo e di tipo teorico.

LABORATORIO E/O ESERCITAZIONI

Sono previste sia esercitazioni di tipo teorico sia di tipo pratico. Le esercitazioni di tipo teorico consistono in problemi di tipo applicativo e di tipo teorico. Le esercitazioni di tipo pratico consistono in problemi di tipo applicativo e di tipo teorico. Le esercitazioni di tipo teorico consistono in problemi di tipo applicativo e di tipo teorico. Le esercitazioni di tipo pratico consistono in problemi di tipo applicativo e di tipo teorico.

MODALITÀ DI CONTATTO CON I DOCENTI

Prof. A. Priola - Dipartimento di scienza dei materiali metallici
Equilibri omogenei ed eterogenei in sistemi di metalli e leghe metalliche. Equilibri metallo-metallo, metallo-ossido, metallo-leghe metalliche. Termodinamica del processo siderurgico. Teoria e pratica dei processi di riduzione. [30 ore]

Riducibilità degli ossidi. Sistemi costruiti da ossidi in progressiva riduzione. Equilibri di riduzione degli ossidi di ferro con ritrattamento all'effetto di ossidi estranei in particolare del composto. Riduzione diretta e indiretta. Riduzioni dirette e indirette. Combustibili. Preheating e recupero di calore. [30 ore]

Classificazione e controllo di forni siderurgici. Guida. [10 ore]
Preparazione del minerale. Altopressione ed impianti ausiliari. Altopressione elettrica e forni per ferro. Seconda fusione. Inoculazione e colata. Steroidizzazione e malleabilizzazione. Guide. Caratteristiche di impiego delle guide. [10 ore]

Acacia. [10 ore]
Processi di preraffinazione ed affinazione. Dissolvenza e colata. Raffinazione di acciai speciali. Lavorazioni ed utilizzazione dell'acciaio. Trattamenti termici e caratteristiche strutturali e di impiego degli acciai. Comportamento in opera. [10 ore]

LABORATORIO E/O ESERCITAZIONI

Esame di schemi costruttivi e dimensionamento di apparecchiature ed impianti siderurgici. [15 ore]

E5241 STRUTTURA DELLA MATERIA (SPERIMENTALE)

Anno: 5 Periodo: 2

Docente: E. MEZZETTI/R. GONNELLI

PRESENTAZIONE DEL CORSO

L'obiettivo 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

- Parte introduttiva di carattere generale, dedicata all'apprendimento dell'uso della strumentazione di base per acquisizione dati. [20 ore]
- 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.
- Resistività di metalli e di semiconduttori in funzione della temperatura tra 20 e 300K.
- Magnetoresistenza ed effetto Hall.
- Spettroscopia Raman per la determinazione delle componenti ottiche dello spettro fononico.
- 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).
- Misure di suscettività magnetica complessa in a.c. a diverse frequenze, in funzione della temperatura e del campo applicato, per sistemi dia- e paramagnetici.
- Cicli di magnetizzazione in continua per superconduttori ad alta TC. Determinazione della irreversibility line.
- La transizione superconduttiva. R vs T per materiali ad alta TC. Caratteristiche E vs J a campo nullo e in campo magnetico. Energia di pinning del flusso magnetico.
- Misure di effetto Josephson in giunzioni planari, a punta di contatto o a rottura in superconduttori a bassa ed alta TC (tra 4.2 e 300K).
- 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 300K).

BIBLIOGRAFIA

Testi generali di fisica dello stato solido, ad es.

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

E5404 SUPERCONDUTTIVITÀ

(Corso ridotto)
Anno: 5 Periodo: 2
Docente: Mario RASETTI
Lezioni, esercitazioni, laboratori: 4 (ore settimanali); 50 (nell'intero periodo)

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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).

PROGRAMMA

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

E5691 TECNOLOGIE E MATERIALI PER L'ELETTRONICA 1

Anno: 5

Periodo: 1

Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6 (ore settimanali); 80 (nell'intero periodo)

Docente: **A. PAPUZZA**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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

- Strutture cristalline perfette e difettive; struttura a bande per materiali di volume, eterostrutture e strutture quantistiche. [8 ore]
- Caratterizzazione dei materiali semiconduttori: microscopia elettronica e microanalisi, caratterizzazioni strutturali, elettriche ed ottiche. [10 ore]
- Aspetti generali della tecnologia; tecnologia del vuoto e camere depolverizzate. [6 ore]
- Preparazione dei materiali monocristallini. Crescita dei substrati e crescite epitassiali con diverse tecnologie. [6 ore]
- 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]
- Drogaggio con tecniche di diffusione e di impiantazione ionica ed *annealing*. [6 ore]
- Tecnologia delle fibre ottiche. Tecniche di produzione di fibre, fibre attive, cavi ottici. [4 ore]
- Tecnologia dei dispositivi elettronici integrati al silicio; bipolari, MOS ed all'arseniuro di gallio. [10 ore]
- Tecnologia dei dispositivi optoelettronici; laser DFB, laser MQW, amplificatori ottici, dispositivi fotonici e fotorivelatori. [10 ore]
- *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]
- Qualità ed affidabilità dei dispositivi elettronici ed optoelettronici e fisica dei guasti. [4 ore]

LABORATORIO E/O 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.).

E5692 **TECNOLOGIE E MATERIALI PER L'ELETTRONICA 2**

Anno: 5 Periodo: 2
Docente: da nominare

PRESENTAZIONE DEL CORSO

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 multietterostrutture esibenti proprietà quantistiche.

REQUISITI

Dispositivi elettronici 1, Tecnologie e materiali per l'elettronica 1. Sono inoltre consigliati *Elettronica dello stato solido*.

PROGRAMMA

Proprietà dei materiali semiconduttori e eterostrutture.

Rapporto tra composizione chimica, struttura cristallina e proprietà fisiche di materiali.

Strutture quantistiche: *quantum well, quantum wire, quantum dot* e *tunneling* risonante.

Teoria della nucleazione e crescita degli strati epitassiali e delle multistrutture.

Proprietà strutturali, ottiche ed elettriche di materiali massivi e a multietterostruttura.

Caratterizzazioni avanzate dei semiconduttori.

Caratterizzazioni microanalitiche e composizionali (microanalisi X, AES, SIMS, RBS).

Caratterizzazioni strutturali e morfologiche (SEM, TEM, HRXRD, DCDXRT, STM, AEF, CL).

Caratterizzazioni elettriche: effetto Hall in temperatura, magnetoresistenza, fotoconduzione.

Caratterizzazioni ottiche (LIPL, 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.

LABORATORIO E/O ESERCITAZIONI

Sono previste esercitazioni di caratterizzazione in laboratorio.

E5710 TECNOLOGIE METALLURGICHE

Anno: 5 Periodo didattico: 2
Impegno (ore): Lezioni 60 Esercitazioni 20 Laboratori 14, Visite ad industrie 16.
Docente: **Prof. Mario ROSSO**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso è volto all'approfondimento dei processi e delle tecnologie di formatura dei metalli e delle loro leghe. Dopo un'introduzione dei principi fondamentali su cui si basano i processi di deformazione plastica, di fonderia, della metallurgia delle polveri e delle tecniche di giunzione, vengono esaminati i processi e gli impianti utilizzati. In particolare vengono studiate ed analizzate le applicazioni delle predette tecnologie per la fabbricazione di pezzi finiti e costituiti da leghe ferrose, leghe a base di nichel, cobalto, cromo, zinco, alluminio, magnesio e titanio, nonché rame, bronzi ed ottoni, metalli antifrizione e compositi a matrice metallica. Un aspetto fondamentale del corso riguarda la valutazione di caratteristiche e proprietà del prodotto finito, in relazione anche alla tecnologia adottata, mettendo in primo piano gli aspetti legati alla difettologia ed al controllo qualità.

Uno stretto contatto con le realtà industriali più significative, mediante visite appositamente programmate, fornisce un contenuto pratico al corso e favorisce un migliore aggiornamento su evoluzione ed innovazione tecnologica.

REQUISITI

E' necessaria la conoscenza degli argomenti di carattere metallurgico, trattati nei corsi fondamentali.

PROGRAMMA

PROCESSI DI DEFORMAZIONE: a caldo, in semicaldo ed a freddo, richiami dei fondamenti teorici. Fucinatura, stampaggio, estrusione diretta ed inversa, trafilatura, laminazione, formatura delle lamiere sottili. Tensioni residue e difetti più comuni dopo lavorazione, leghe assoggettabili ai processi di deformazione plastica, proprietà e caratteristiche dei pezzi ottenuti, controllo qualità. (14 ore)

FONDERIA: richiami ai principi di solidificazione delle leghe. Diagramma di flusso e ciclo di lavorazione tipico di una fonderia. Modelli, forme ed anime, modalità di formatura e processi speciali di formatura. Colata in gravità e centrifuga, pressocolata. Formatura di leghe e compositi allo stato semisolido: processi tipo Rheocasting e Thixoforming. Lavorazioni di finitura e controllo dei getti, leghe tipiche da fonderia e loro settori di impiego, assicurazione della qualità. (14 ore)

METALLURGIA DELLA POLVERI: analisi del ciclo completo di produzione dei sinterizzati. Polveri, produzione, miscelazione, compattazione e forme limiti ottenibili. Aspetti termodinamici del processo di sinterizzazione, 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, calibratura, infiltrazione e impregnazione. Metalli e leghe idonei al processo, loro caratteristiche ed applicazioni. controllo qualità e finitura. (14 ore).

TECNICHE DI GIUNZIONE E RIPORTI SUPERFICIALI: processi di saldatura e metallurgia della saldatura. Brasatura. Giunzione mediante collanti. Verifica e controllo delle giunzioni. Riporti superficiali: mediante proiezione a fiamma, a plasma e HVOF, riparazione di componenti e rivestimento di componenti per migliorare le resistenze a corrosione e ad usura (10 ore).

CRITERI DI SCELTA E COSTI: progetto di un processo di formatura, progetto degli utensili, fattori di forma, confronti tra le differenti tecnologie, alternative e criteri di scelta. Ottimizzazione tecnico economica ed indici di costo. (8 ore)

LABORATORIO E/O ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula consistono nello sviluppo di esempi applicativi e di calcolo sugli argomenti oggetto delle lezioni. Comprendono 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. Per la Metallurgia delle Polveri 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. Progetto del ciclo di formatura di pezzi specifici e confronto tecnico economico tra diverse ipotesi alternative. Le prove in laboratorio riguardano le caratteristiche di formabilità, l'esame delle proprietà e delle caratteristiche microstrutturali dei materiali assoggettati alle diverse tecnologie, osservazione e analisi di pezzi finiti.

Visite ad industrie di stampaggio a caldo ed a freddo, a fonderie di leghe leggere e di leghe ferrose, a fabbriche di sinterizzati.

BIBLIOGRAFIA

G. Dieter, Mechanical Metallurgy, McGraw.Hill, Tokio, 1988.

R.A. Higgins, Engineering Metallurgy, Vol I e II, ELBS, Kent, 1986.

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

Appunti del corso.

ESAME

Per gli esami non sono previste modalità particolari e consistono nella classica prova orale.

UM013 IL CONCETTO DI SIMMETRIA DALL'ANTICHITÀ A OGGI

Periodo didattico: 2

Docente: Tullio REGGE

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso è incentrato sul concetto di simmetria. Uscirà non solo un corso monografico e astratto basato su formule, ma piuttosto un corso interdisciplinare e che investe anche l'analisi del reale. Hermann Weyl, un grande matematico che ha scritto opere innumerevoli e che ha investito anche l'analisi del reale, come tali, che durante il corso saranno affrontate.

PROGRAMMI DELLE DISCIPLINE DELLE SCIENZE UMANISTICHE

PROGRAMMA

1. Cenni storici partendo dal Timeo attraverso Galois e l'inizio della teoria dei gruppi
2. Concetto di gruppo
3. Simmetrie discrete e simmetrie continue
4. Ruolo delle simmetrie nella Fisica sia classica sia quantistica
5. Cristalli
6. Simmetrie nella relatività ristretta
7. Simmetria nelle particelle elementari. Materia e antimateria
8. Valore estetico della simmetria
9. Simmetria in biologia

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni prevedono l'approfondimento di temi specifici proposti dal docente e applicazioni sul riconoscimento di simmetrie nascoste.

BIBLIOGRAFIA

- D. Hilbert e Vossen-Cohen, *Geometria e intuizione*, Bollati Boringhieri
H. Weyl, *Simmetria*, Bollati Boringhieri

ESAME

La valutazione finale sarà basata sulle esercitazioni svolte e su una prova pratica scritta.

UM009 ECONOMIA DELL'AMBIENTE

Esame attivato dalla Facoltà di Architettura

PROGRAMMA NON PERVENUTO

UM013 IL CONCETTO DI SIMMETRIA DALL'ANTICHITÀ A OGGI

Periodo didattico: 2

Docente: **Tullio REGGE**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso è incentrato sul concetto di simmetria. L'idea non è assolutamente quella di fare un corso monografico e astratto basato su formule, ma piuttosto quello di seguire le orme di Hermann Weyl, un grande matematico che ha scritto un testo classico sull'argomento di carattere interdisciplinare e che investe anche l'analisi di opere d'arte e di architettura. Sono estremamente numerose le strutture che hanno simmetrie nascoste, usualmente non riconosciute come tali, che durante lo svolgimento del corso saranno poste in luce.

PROGRAMMA

1. Cenni storici partendo dal Timeo attraverso Galois e l'inizio della teoria dei gruppi.
2. Concetto di gruppo
3. Simmetrie discrete e simmetrie continue
4. Ruolo delle simmetrie nella Fisica sia classica sia quantistica
5. Cristalli
6. Simmetrie nella relatività ristretta
7. Simmetria nelle particelle elementari. Materia e antimateria
8. Valore estetico della simmetria
9. Simmetria in biologia

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni prevedono l'approfondimento di temi specifici proposti dal docente e applicazioni sul riconoscimento di simmetrie nascoste.

BIBLIOGRAFIA

- D. Hilbert e Vossen-Cohen, *Geometria e intuizione*, Bollati Boringhieri
H. Weyl, *Simmetria*, Bollati Boringhieri

ESAME

La valutazione finale sarà basata sulle esercitazioni svolte e su una prova pratica scritta.

UM009 ECONOMIA DELL'AMBIENTE

Esame attivato dalla Facoltà di Architettura
PROGRAMMA NON PERVENUTO

UM012 A LINGUA ITALIANA CON ESERCITAZIONI DI RETORICA E STILISTICA

Periodo didattico: 2

Docente: **Carlo OSSOLA**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso intende fornire allo studente competenze nella composizione di scrittura: la letteratura è infatti anche disegno e "divisamento" di parole; articola una sintassi spaziale e temporale altrettanto logicamente costruita che quella dispiegata dalle arti grafiche e dai principi compositivi del disegno architettonico.

La composizione di scrittura ordina un lessico, obbedisce a una grammatica, si distribuisce per sintassi e paratassi. Descrive forme, individua oggetti, crea percorsi, vi traccia e vi situa la posizione del soggetto che descrive, commisura, argomenta, contempla.

Il corso intende offrire –come nei principi canonici della retorica classica– paradigmi per costruire testi e produrre senso.

PROGRAMMA

Scomposizione analitica dei testi (10 h):

- varietà di testi: orale e scritto;
- unità di senso: la frase;
- unità di proposizione: il periodo;
- registri e forme mimetiche e diegetiche (descrizione, narrazione, dimostrazione, etc.);
- figure retoriche e stili di scrittura;

Composizione (10 h):

- unità compositive: contrazioni ed espansioni;
- scrittura del soggetto: monologo, dialogo, flusso memoriale, etc. ;
- scrittura dell'oggetto: il punto di vista;
- l'orizzonte degli oggetti: giaciture di spazio e di tempo;
- seriazioni e selezioni;

Argomentazione (10 h):

- posizione del problema, posizione della tesi;
- recensione dei dati: possibile e persuasibile;
- varianti di procedura: compatibilità e attese di senso;
- retorica e logica: paradigmi e verifiche;
- criteri di compiutezza: economia, evidenza, rendiconto;

La forma gratuita (10 h):

- comunicazione transitiva e comunicazione intransitiva;
- testo documentale e testo contemplativo;
- letteratura e poesia;
- traslazione e icona;
- lo sguardo del testo;

ESERCITAZIONI

Il corso, consacrato a "elementi di composizione del testo scritto", contempla ai quattro moduli teorici, anche 20 ore di esercitazioni pratiche.

BIBLIOGRAFIA

- E. Aliberti, I Gallinaro, G. Jori, S. Stroppa, *Esercitazioni di scrittura*, Celid, Torino, 1998
B. Mortara Garavelli, *Manuale di retorica*, Bompiani
U. Eco, *Come si fa una tesi di laurea*, Bompiani

ESAME

L'esame prevederà, a fianco della prova orale, anche a presentazione di una relazione scritta.

UM001 **METODOLOGIA DELLE SCIENZE NATURALI** **(IL METODO SCIENTIFICO)**

Periodo didattico: 1

Docente: **Gabriele LOLLI**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso si propone di introdurre ai temi trattati dalla filosofia della scienza attraverso l'analisi di concrete pratiche scientifiche.

Negli ultimi anni c'è stata una reazione al neopositivismo e un periodo di discussioni storiche e filosofiche su scienza normale e rivoluzioni, progresso e incommensurabilità delle teorie; quindi sono state affrontate anche le condizioni al contorno, materiali e culturali del lavoro scientifico, con i contributi della sociologia e delle scienze cognitive.

La tendenza prevalente nella filosofia della scienza è quella di sottolineare il carattere storico, relativo, non garantito dei risultati e delle teorie scientifiche. Una prima parte del corso sarà dedicata a una rassegna di queste discussioni.

Una seconda parte sarà dedicata al metodo scientifico, riconosciuto come una complessa manifestazione di tecniche e di ragionamenti - non regole che garantiscono la certezza in indagini settoriali; resta il fatto però che i procedimenti scientifici rispettano precise condizioni per la formulazione e il controllo delle ipotesi, la ideazione, verifica e valutazione degli esperimenti. Saranno affrontati due aspetti, l'organizzazione degli esperimenti e il ruolo della matematica.

PROGRAMMA

Ragionamento scientifico - Ipotesi, teorie, modelli, esperimenti - Esperimenti mentali - Apparati e strumenti - Misurazione Modelli scientifici - Modelli analogici e strutturali - Modelli di simulazione - Matematica e mondo Spiegazione scientifica - Cause, correlazioni, ragionamento statistico, teoria delle decisioni Giustificazione delle teorie - Predizione - Verifica, corroborazione e falsificazione - Scoperta scientifica Scienza e metafisica - Determinismo - Riduzionismo - Rivoluzioni scientifiche - Stili di ricerca, scuole e tradizioni - La conoscenza sociale, il sapere non verbalizzabile

BIBLIOGRAFIA

R. N. Giere, *Understanding Scientific Reasoning*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.

G. Lolli, *Beffe, scienziati e stregoni*, Il Mulino, Bologna, 1998.

L. Wolpert, *The Unnatural Nature of Science*, Faber&Faber, London, 1992.

ESAME

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta su un tema o autore trattati nel corso.

ESAME

L'esame prevederà, a fianco della prova orale, la presentazione di una relazione scritta. Gli studenti saranno invitati a scrivere e presentare studi riguardanti uno o più incidenti tecnologici maggiori. In questo caso è indispensabile una buona conoscenza della lingua inglese.

Periodo didattico: 1

Docente: **Diego MARCONI****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso si propone d'illustrare, ad un livello elementare, concetti, metodi, ed esempi della ricerca filosofica attuale, in vari campi (metafisica, filosofia del linguaggio, filosofia della mente, filosofia morale). Sarà sottolineata la struttura argomentativa del discorso filosofico, cioè si cercherà di mettere in evidenza in che modo e con quali argomenti sono sostenute le diverse tesi filosofiche di volta in volta esaminate.

PROGRAMMA

- Filosofia (alcune concezioni della filosofia: Aristotele, Stoicismo, Locke, Cartesio, Hegel, Wittgenstein)
- Giusto e sbagliato in senso morale (ci sono argomenti per l'altruismo? I principi e i valori morali sono universali?)
- Libero arbitrio e determinismo
- Mente e cervello (dualismo - riduzionismo - funzionalismo)
- Morte (c'è vita dopo la morte? La morte è buona, cattiva o indifferente? La morte degli altri e la propria morte)
- L'esistenza di Dio (argomenti per l'esistenza di Dio; Dio e il male)
- Conoscenza e scetticismo
- Verità: definizioni di verità e criteri di verità; corrispondenza e coerenza, giustificazione, verificaione; realismo e antirealismo
- Linguaggio e significato (la teoria di Frege - la teoria di Kripke - le idee di Wittgenstein)
- Progresso (scientifico, tecnologico, sociale, morale)

BIBLIOGRAFIA

T. Nagel, Una brevissima introduzione alla filosofia, Il Saggiatore, Milano 1989

sarà il testo di base; saranno inoltre usate parti dei seguenti:

M. Messeri, Verità, La Nuova Italia;

G. Graham, Shapes of the Past, Oxford;

R. Warburton, Philosophy (2a ed.), Routledge;

J. Hospers, An Introduction to Philosophical Analysis (4ed.), Routledge.

ESAME

L'esame prevederà la presentazione di una relazione scritta su un testo filosofico concordato col docente, e un compito scritto finale.

ESERCITAZIONI

Il corso, consacrato a "elementi di composizione del testo scritto", contempla ai quattro moduli teorici, anche 20 ore di esercitazioni pratiche.

BIBLIOGRAFIA

E. Aliberti, I Gallinari, G. Jori, S. Struppa, *Esercizi di scrittura*, Celsid, Torino, 1998

B. Mortara Garavelli, *Manuale di retorica*, Bompiani

U. Eco, *Come si fa una tesi di laurea*, Bompiani

ESAME

L'esame prevederà, a fianco della prova orale, anche la presentazione di una relazione scritta.

UM003 SOCILOGIA DEL LAVORO

Periodo didattico: 2

Docente: **Alberto BALDISSERA**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Scopo del corso è esaminare modi e forme di utilizzazione economica e sociale delle innovazioni tecnologiche. Particolare attenzione verrà dedicata all'analisi delle relazioni esistenti tra innovazioni tecnologiche ed organizzative nelle imprese economiche e in alcuni sistemi tecnologici complessi.

L'idea di fondo è che la diffusione delle innovazioni tecnologiche richiede adattamenti e innovazioni radicali nelle strutture organizzative delle imprese economiche, oltre a notevoli investimenti in istruzione e formazione professionale. A loro volta, le innovazioni organizzative, dal mutamento dei sistemi manageriali di controllo e dell'organizzazione del lavoro sino alle modifiche delle interfacce uomo-macchina, adattano le tecnologie alle esigenze produttive e del lavoro umano e contribuiscono a modificarle in misura rilevante.

PROGRAMMA

- Alcuni temi e problemi fondamentali della sociologia dell'azione sociale e della metodologia della ricerca sociologica;
- Le relazioni tra processi di globalizzazione, innovazioni tecnologiche e occupazione, nei paesi europei e negli USA. Particolare attenzione verrà dedicata all'analisi delle politiche (riguardanti l'istruzione e la formazione professionale, il mercato del lavoro, le politiche pubbliche di welfare, l'innovazione di prodotti e di processi) messe in atto in questi paesi al fine di stimolare lo sviluppo economico e l'occupazione.
- Le innovazioni organizzative (come il re-engineering o i programmi di total quality management) che accompagnano, stimolano e modificano l'introduzione delle tecnologie dell'informazione nelle organizzazioni industriali e dei servizi.
- Le patologie dei sistemi tecnologici complessi, illustrate negli ultimi decenni da una serie di incidenti maggiori, da Seveso a Three Mile Island, Chernobil, Bophal, etc. Verranno in particolare definiti i concetti di interfaccia e di interazione uomo-macchina, di logica della progettazione e logica di utilizzazione dei sistemi tecnologici complessi, di organizzazione affidabile ed esaminate alcune teorie organizzative degli incidenti tecnologici.

BIBLIOGRAFIA

- A. Baldissera, *La tecnologia difficile*, Tirrena Stampatori, Torino, 1992
A. M. Chiesi, *Lavori e professioni*, Roma, NIS, 1997.
D. S. Landes., *Prometeo liberato. Trasformazioni tecnologiche e sviluppo industriale nell'Europa occidentale dal 1750 ai giorni nostri*, Torino, Einaudi, 1978.

ESAME

L'esame prevederà, a fianco della prova orale, la presentazione di una relazione scritta. Gli studenti saranno invitati a scrivere e presentare studi riguardanti uno o più incidenti tecnologici maggiori. In questo caso è indispensabile una buona conoscenza della lingua inglese.

Periodo didattico: 1

Docente: **Giuseppe ORTOLEVA****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso mira a dotare gli studenti di strumenti critici utili

da un lato a usare e comprendere fattivamente gli usi e le funzioni della comunicazione nei diversi ambiti produttivi nei quali si troveranno a operare,

dall'altro ad acquistare consapevolezza critica della presenza e del ruolo dei media nei diversi aspetti della vita sociale, una consapevolezza oggi necessaria per una responsabile partecipazione civica, qual è richiesta in particolare a chi esercita funzioni direttive e gestionali.

Il Corso avrà pertanto carattere interdisciplinare (con punti di vista sociologici, economici, culturali) e sarà dedicato non ad alcuni singoli mezzi di comunicazione, ma all'intero quadro sistematico dei media. Verrà fornita un'analisi d'insieme delle relazioni e interdipendenze organizzative, economiche e sociali, esistenti fra i diversi comparti dell'industria della comunicazione: i "vettori" (posta e telecomunicazioni), il "broadcasting" (radio, TV, TV-cavo), l'"editoria" (incluso in questo concetto non solo libri e giornali, ma anche produzione discografica, cinematografica, home video, fino al software informatico), l'"hardware", ovvero i beni strumentali.

Particolare attenzione sarà dedicata da un lato alle strutture professionali e all'organizzazione dei vari settori dell'industria dei media, dall'altro alle nuove tecnologie oggi emergenti e ai nuovi settori produttivi nascenti dall'incontro o "convergenza" tra i media in precedenza separati.

PROGRAMMA

- Comunicazione: definizioni e quadro teorico
- Le comunicazioni di massa e l'industrializzazione della cultura
- La comunicazione e la vita delle imprese
- L'attuale sistema dei media
- Prospettive di evoluzione
- Il caso italiano.

BIBLIOGRAFIA

P.Ortoleva, Comunicazione e cambiamento sociale nel mondo contemporaneo, (Pratiche), Parma 1995;

G.Cesareo e P.Roda, Il mercato dei sogni, (Il Saggiatore), Milano 1996;

E.Pucci (a cura di), L'industria della comunicazione in Italia, (Guerini), Milano 1996

ESAME

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta.

UM005 STORIA DELLA FILOSOFIA CONTEMPORANEA + ESTETICA (CORSO INTEGRATO)

Periodo didattico: 2
Periodo didattico: 2 Nuova attivazione
Docenti: Gianni VATTIMO (e Roberto SALIZZONI)

PRESENTAZIONE DEL CORSO

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Breve storia della filosofia novecentesca centrato sul tema del rapporto tra "humanities" e mondo tecnico-scientifico: il filo conduttore è dunque ciò che la filosofia novecentesca (e non solo la filosofia in senso stretto: anche autori e testi di campi affini, come: letteratura, sociologia, tecnologia...) ha pensato circa la configurazione principalmente tecno-scientifica del mondo contemporaneo: posizioni polemiche, spesso, ma anche teorie che guardano alla scienza sperimentale come modello di conoscere "vero", e alla tecnologia come a luogo di sperimentazione per una nuova forma di umanità. Il corso non privilegia (anche se non ignora) le riflessioni filosofiche sulla scienza, non è cioè un corso di epistemologia; e anzi ritiene indispensabile allargare la prospettiva sulla storia delle idee nel senso più generale della parola.

PROGRAMMA

I contenuti dei due corsi, strettamente integrati tra loro, prevedono lo sviluppo della storia dei principali movimenti filosofici del Novecento centrata sul rapporto esistenza-technica. In particolare si approfondiranno i seguenti temi:

- Lo spirito dell'avanguardia: E. Bloch e l'espressionismo
- Tempo vissuto e libertà in Bergson
- Esistenzialismo e autenticità
- La scuola del sospetto: Nietzsche, Freud, Marx
- La scienza come modello: Wittgenstein, Popper
- La scuola di Francoforte e la critica della razionalizzazione
- Nichilismo: Sartre, Heidegger, Pareyson
- Dalla linguistica all'antropologia e dall'antropologia alla linguistica: Lévi Strauss, Bateson, la scuola di Palo Alto e la pragmatica della comunicazione.
- Postmoderno e narritività: Lyotard e P. Ricoeur
- Arte e tecnologia moderna
- Le grandi svolte dell'etica
- Il dialogo, la virtù, la comunità
- Filosofia della religione, il problema del sacro

BIBLIOGRAFIA

G. Vattimo, *Tecnica ed esistenza*, Paravia, Torino, 1998
AA. VV., *Dizionario di filosofia e scienze umane*, Garzanti
Durante il corso sarà fornito dal docente ulteriore materiale didattico.

ESAME

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta.

Periodo didattico: 1

Docente: **Vittorio MARCHIS****PRESENTAZIONE DEL CORSO**

Il corso vuole fornire agli studenti la capacità di inquadrare gli oggetti e i sistemi tecnici nella loro prospettiva storica. A tal fine il corso prende l'avvio da alcune fondamentali premesse sul concetto di storia, sul ruolo e sulle finalità della ricerca storica, e specificamente sul significato della storia della tecnologia e sulla sua storiografia. Nel seguito sono passati in rassegna i sistemi tecnici più significativi, a partire da alcuni cenni sul mondo antico sino a focalizzare l'attenzione sul mondo contemporaneo. E' dato ampio spazio alle problematiche della tecnica nel XIX e XX secolo.

PROGRAMMA

La storia come scienza. Le scritture, i documenti, la ricerca storica.

I temi e le idee della storia. Cronologia e storia. La storia e "le storie". Le scritture come fondamento della storia: il documento. La storia della tecnica e la sua storiografia. La storia della tecnica e la storia della scienza. Gli strumenti della storia della tecnica.

- Dal mondo antico al Medioevo (cenni).
- Dal Rinascimento al Seicento.

La "scienza nuova" e il passaggio "dal mondo del pressappoco all'universo della precisione" (A.Koyré): La nascita della metallurgia nel '500; la "meccanica" da Guidobaldo del Monte a Galilei a Newton; la nascita delle Accademie e delle istituzioni scientifiche.

- Il Settecento e la coscienza della tecnologia.

L'Illuminismo e le Enciclopedie. La Rivoluzione industriale in Gran Bretagna. L'industria dei metalli e gli arsenali. Il vapore. L'istruzione tecnica.

- L'Ottocento e il trionfo delle macchine.

Il macchinismo e la diffusione del sistema di fabbrica: Inghilterra, Francia, Germania, Italia. La nascita dell'elettricità. I sistemi tecnici: il telegrafo; le ferrovie; l'industria chimica. I politecnici e le scuole di ingegneria. La diffusione del sapere tecnico: le Esposizioni industriali; i brevetti. L'ottimismo "fin-de-siècle".

- Le crisi e le speranze del XX secolo

Le costruzioni in ferro e in cemento armato. La nascita dell'aeronautica. Il sistema industriale e il modello tayloristico. I grandi sistemi tecnici: elettricità, telecomunicazioni, trasporti. I limiti dello sviluppo. Le rivoluzioni informatiche.

LABORATORI E / O ESERCITAZIONI

Durante il corso, gli studenti a gruppi affronteranno la lettura critica di testi significativi della storiografia dei sistemi tecnici, con particolare riferimento al secolo XX e i cui risultati saranno oggetto di discussione collettiva durante le esercitazioni.

BIBLIOGRAFIA

Marchis, *Storia delle macchine*, (Ed. Laterza), Roma-Bari 1994;

V. Marchis (a cura di), *Storia delle scienze. vol.V (Conoscenze scientifiche e trasferimento tecnologico)*, (Einaudi), Torino 1995.

ESAME

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta.

UM007 ALTEORIA DEI LINGUAGGI

Periodo didattico: 2

Docente: **Alberto VOLTOLINI**

PRESENTAZIONE DEL CORSO

Il corso intende fornire alcune nozioni fondamentali di analisi del linguaggio, utili a comprendere il modo in cui funzionano sia le lingue naturali (come l'italiano, l'inglese ecc.) sia i linguaggi artificiali come quelli usati dalla matematica o dall'informatica. Queste nozioni fondamentali sono state elaborate nell'ambito di teorie filosofiche, linguistiche e psicologiche; si tratterà quindi di familiarizzarsi con alcune di queste teorie, come la teoria della sintassi di Chomsky, la semantica formale creata da Tarski e poi applicata sia allo studio delle lingue naturali, sia a quello dei linguaggi artificiali, e la pragmatica, una teoria filosofica creata da Austin, Searle e Grice e oggi applicata soprattutto in linguistica, per comprendere a quali condizioni un atto linguistico è appropriato o "felice". Verranno presentate anche alcune teorie psicologiche (come la teoria dei prototipi) che sono pertinenti allo studio del linguaggio, in particolare a quello del significato delle parole.

La maggior parte di queste idee sono state e sono tuttora usate in intelligenza artificiale, specialmente nel settore detto 'elaborazione automatica del linguaggio naturale'. Il corso si soffermerà quindi anche sulle forme di rappresentazione del significato più usate in intelligenza artificiale (reti semantiche, frames) e sulla loro relazione con le teorie del linguaggio sopra citate.

PROGRAMMA

- Alcuni concetti fondamentali: sintassi, semantica, pragmatica, sintagma, enunciato; proposizione, termine singolare (nomi propri, descrizioni)
- Punti di vista sul linguaggio: linguistica; teoria dei linguaggi formali; filosofia del linguaggio (semantica filosofica); psicologia (psicolinguistica); intelligenza artificiale (elaborazione del linguaggio naturale); semiologia
- Sintassi: l'evoluzione del programma di Chomsky; la fase attuale della grammatica generativa; altre teorie sintattiche
- Semantica: concetti introduttivi: senso, denotazione, forma logica; stereotipi e prototipi; semantica formale e sua applicazione alle lingue naturali; semantica linguistica (analisi componenziale, relazioni di senso); strutture semantiche impiegate in intelligenza artificiale
- Pragmatica; teoria degli atti linguistici; teoria della conversazione

BIBLIOGRAFIA

- M.Santambrogio (a cura di), *Introduzione alla filosofia analitica del linguaggio*, (Laterza), Roma-Bari 1992;
- P.Casalegno, *Filosofia del linguaggio*, (la Nuova Italia Scientifica), Roma 1997.

ESAME

L'esame prevederà a fianco della prova orale anche la presentazione di una relazione scritta.