

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

## **I Facoltà di ingegneria**

*Preside:* Pietro Appendino

### *Corso di laurea*

### *Presidente*

*(coordinatore)*

Ingegneria aeronautica	Gianfranco Chiocchia
Ingegneria per l'ambiente e il territorio	Antonio Di Molfetta
Ingegneria chimica	Vito Specchia
<i>Settore civile/edile:</i>	Giovanni Barla
Ingegneria civile	Giovanni Barla
Ingegneria edile	Secondino Coppo
Ingegneria elettrica	Alfredo Vagati
Ingegneria gestionale	Agostino Villa
<i>Settore dell'informazione:</i>	Paolo Prinetto
Ingegneria delle telecomunicazioni	Mario Pent
Ingegneria elettronica	Carlo Naldi
Ingegneria informatica	Paolo Prinetto
Ingegneria dei materiali	Carlo Gianoglio
Ingegneria meccanica	Rosolino Ippolito
Ingegneria nucleare	Evasio Lavagno

## **II Facoltà di ingegneria (sede di Vercelli)**

*Preside:* Antonio Gugliotta

### *Corso di laurea*

### *Coordinatore*

Ingegneria civile	Riccardo Nelva
Ingegneria elettronica	Luigi Ciminiera
Ingegneria meccanica	Maurizio Orlando

**Edito a cura del SERVIZIO STUDENTI**

**Politecnico di Torino**

**Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino - Tel. 564.6250**

**Stampato nel mese di giugno 1996**

**CASA EDITRICE CELID, Via Lodi, 27 - Torino - Tel. 248.93.26**

**Libreria: C.so Duca degli Abruzzi, 24 - Torino - Tel. 540.875**

## SOMMARIO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA	5
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INFORMATICA	23
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI	49
PROGRAMMI DEGLI INSEGNAMENTI	59
INDICE ALFABETICO PER INSEGNAMENTO	321

**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 1996/97 sono attivati a Torino tredici *corsi di laurea* (elenco alla pagina a fronte). Per permettere l'approfondimento di competenze metodologiche e di tecniche progettuali realizzative e di gestione in particolari campi, i corsi di laurea possono essere articolati in indirizzi ed orientamenti. Dell'*indirizzo* eventualmente seguito viene fatta menzione nel certificato di laurea, mentre gli *orientamenti* corrispondono a differenziazioni culturali, di cui invece non si fa menzione nel certificato di laurea; gli orientamenti vengono definiti annualmente dai competenti *Consigli dei corsi di laurea*, e ne viene data informazione ufficiale mediante il *Manifesto degli studi*. Nelle pagine di queste *Guide*, di ciascun corso di laurea viene data una breve descrizione, e viene illustrato il programma di attuazione degli orientamenti previsti per ogni indirizzo.

**Gli insegnamenti.** Il nuovo ordinamento didattico<sup>1</sup> prevede diversi tipi di insegnamenti, distinti in monodisciplinari, monodisciplinari a durata ridotta (nel seguito indicati come corsi ridotti), e integrati. Un *insegnamento monodisciplinare* è costituito da 80–120 ore di attività didattiche (lezioni, esercitazioni, laboratori, seminari ecc.) e corrisponde ad una unità didattica o annualità. Un *corso ridotto* è costituito da 40–60 ore di attività didattiche e corrisponde a mezza annualità. Un corso integrato è costituito da 80–120 ore di attività didattiche e corrisponde ad una annualità; esso è svolto – in moduli coordinati di almeno 20 ore ciascuno – da due o, al massimo, tre professori che fanno tutti parte della commissione d'esame.

<sup>1</sup> Decreto Ministeriale del 22.05.1995, pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 166 del 18.07.1995.

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 è di durata pari ad almeno 13 settimane effettive di attività. Un'altra novità introdotta già dal DPR 20 maggio 1989<sup>2</sup> è costituita dal fatto che non sono prescritti specifici insegnamenti (almeno a livello nazionale) per il conseguimento della laurea in un determinato corso di laurea in Ingegneria, ma sono prescritti i numeri minimi di unità didattiche da scegliere in determinati raggruppamenti disciplinari consistenti in *gruppi*<sup>3</sup> di discipline affini.

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*.

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

Ogni corso di laurea 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*").

<sup>2</sup> Pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 186 del 10.08.1989.

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

# Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica

## Profilo professionale

L'attuale figura dell'ingegnere laureato in *Ingegneria elettronica* ha conquistato una vasta e profonda stima e credibilità nell'ambiente del lavoro: il mondo industriale si aspetta una conferma e un consolidamento su basi sempre più aggiornate del tipo di formazione sinora offerto. Peraltro l'innovazione continua nel settore dell'*information technology* e nei campi collegati richiede anche figure professionali con preparazione più approfondita in sottosectori specifici.

Per questi motivi, nel progetto di riordino degli studi di ingegneria è prevista in alcune sedi la creazione di lauree in *Ingegneria informatica* e in *Ingegneria delle telecomunicazioni*, lauree che evidentemente devono soddisfare un'esigenza di specializzazione nei rispettivi campi. La laurea in *Ingegneria elettronica* mantiene invece l'obiettivo di una formazione ad ampio spettro culturale e professionale, trasversale ai contenuti delle altre lauree del settore dell'informazione.

L'ingegnere elettronico deve possedere competenze di progettazione di sistemi elettronici finalizzati nei diversi campi di applicazione, relative agli aspetti tecnologici, a quelli sistemistici, ed a quelli organizzativo-produttivi (producibilità, collaudabilità...). Lo spettro di conoscenze deve comprendere l'architettura dei sistemi sia analogici che digitali. In particolare l'ingegnere elettronico deve avere piena padronanza della catena di progettazione completa, dalla definizione e scelta delle architetture agli aspetti più legati alla tecnologia realizzativa, comprendendo le tecniche di verifica per le varie fasi (strumenti di simulazione e di verifica del progetto, metodi di analisi e di collaudo).

Ciò non toglie che la laurea in *Ingegneria elettronica* presenti anche una sua precisa specificità, coprendo ampi spazi culturali autonomi. Sono infatti propri della laurea in Ingegneria elettronica lo studio e lo sviluppo:

- delle tecniche di progetto, di ingegnerizzazione e di produzione degli apparati e dei sistemi elettronici, sia analogici sia digitali, per tutte le applicazioni sia nel settore dell'informazione, che in quello industriale o *consumer*
- delle tecnologie dei componenti elettronici, a microonde e ottici
- dei componenti e dei sistemi per la microelettronica (VLSI, MMIC) e l'optoelettronica
- dei sensori, della strumentazione elettronica per le misure e per i controlli. Questo campo è particolarmente connaturato alla tradizione e alla cultura del Politecnico di Torino, dove da tempo è attivo un indirizzo di misure ed un dottorato di ricerca sull'argomento
- dell'elettromagnetismo e delle sue applicazioni nei campi: delle microonde e onde millimetriche, della compatibilità elettromagnetica, dell'ottica integrata, del telerilevamento e sondaggio ambientale e infine della interazione con i materiali e le strutture biologiche
- dell'elettronica di potenza e delle sue applicazioni nei controlli industriali

– delle metodologie proprie dell'elettronica nella bioingegneria

La formazione dell'ingegnere elettronico deve comprendere una base a spettro ampio, che sarà il fondamento per la crescita professionale, e consentirà di dominare con competenza i diversi campi in cui potrà essere chiamato a intervenire, integrata da un approfondimento su sottosettori specifici per un inserimento immediato nell'ambiente di ricerca-sviluppo o della produzione. Il processo formativo potrà in tal modo adattarsi con duttilità, e forse meglio che in altri ambienti formativi di più spinta specializzazione, all'emergere di filoni applicativi a carattere interdisciplinare, i quali prefigurano nuovi profili professionali che superano le tradizionali divisioni disciplinari del settore.

Nei campi prima citati risulta poi trasversale l'interesse di fondo verso gli aspetti metodologici, dall'elettronica fisica all'elettromagnetismo, dalle misure alle metodologie di progetto, anche in vista di una formazione più rivolta alla ricerca e che non finisce con il conseguimento della laurea. Sotto tale aspetto occorre rilevare come nel settore dell'elettronica la ricerca risulti essenziale per il mantenimento della competitività a livello industriale e per l'espansione di competenze tecnologiche strategiche.

Le competenze che si intende continuare a formare con il corso di laurea in Elettronica trovano riscontro nell'impiego prevalente, presso le aziende, dell'ingegnere laureato in questo corso di laurea: a una prima fase nella quale le funzioni ricoperte dal laureato sono principalmente quelle di progettista segue uno spostamento verso incarichi di coordinamento delle attività di progetto e produzione.

È evidente inoltre che il ruolo orizzontale previsto nel settore dell'informazione per la laurea in *Ingegneria elettronica* comporti necessariamente nel *curriculum* formativo dello studente le necessarie competenze anche nei campi dell'informatica, dei controlli e delle telecomunicazioni. In particolare potranno esserci, anche in presenza dei corsi di laurea in *Informatica* e in *Ingegneria delle telecomunicazioni*, indirizzi con quei nomi nel corso di laurea in *Ingegneria elettronica*, rivolti agli aspetti propri dell'ingegneria elettronica in quei settori specifici.

## Insegnamenti obbligatori

La scelta proposta per gli insegnamenti obbligatori, globalmente considerati (per tutti i corsi di laurea, per il settore dell'informazione, per la laurea in Elettronica e specifici della Facoltà) 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 alle nuove esigenze emerse, si pone l'esigenza di trovare lo spazio per discipline che si ritengono indispensabili per la formazione di un ingegnere elettronico.

Per soddisfare tale esigenza si riduce a mezza annualità il corso di analisi superiore (*Analisi matematica III*), cui si riserva il compito primario di insegnare le funzioni di variabile complessa e le trasformate integrali (soprattutto Fourier) e si introduce mezzo corso su *Calcolo delle probabilità*. Un ruolo importante viene assegnato al corso di *Calcolo numerico*, cui si richiede, oltre ai concetti usualmente proposti, di affrontare temi di analisi superiore che si preferisce vengano trattati con la praticità del taglio numerico

quali le equazioni alle derivate parziali (differenze finite, elementi finiti), le equazioni integrali (metodo dei momenti...) e le funzioni speciali.

La preparazione di base è completata da un corso di *Chimica*, due di *Fisica* e uno di *Elettrotecnica*, secondo i requisiti richiesti dal Decreto di *Riordino degli studi di ingegneria*. Un'attenta ridefinizione dei programmi consente un migliore coordinamento dei corsi di fisica e di elettrotecnica con i corsi successivi. In particolare:

- ai corsi di *Fisica* si chiede soprattutto di svolgere un ruolo formativo sugli aspetti unificanti della metodologia interpretativa propria della fisica
- Rispetto alla collocazione tradizionale dei capitoli di fisica, il coordinamento fra i corsi di *Fisica* e di *Elettrotecnica* comporta che nella *Fisica I* vengano esposte le nozioni generali sulle unità dimensionali, sulla trattazione unificata dei campi e lo studio congiunto del campo gravitazionale e di quello coulombiano, e nella *Fisica II*, oltre al resto, verrà esposta una trattazione della termodinamica (spostata da *Fisica I* a *Fisica II* per avvalersi della maggiore maturità tecnica acquisita dallo studente), non solo di tipo classico, ma anche statistico, con l'acquisizione di concetti quali quello del corpo nero, utile sia per le applicazioni in optoelettronica che nella teoria del rumore. Tali conoscenze consentiranno una descrizione microscopica del ferromagnetismo e del ferrimagnetismo
- Per quanto concerne l'elettrotecnica essa riguarda principalmente la teoria dei circuiti che però sarà fatta derivare dai modelli della trattazione dei campi elettromagnetici
- La presenza di *Elettrotecnica* nel primo periodo del secondo anno consente ad un maggior corso di avvalersi delle metodologie rappresentative messe a punto da tale corso. Il fatto però che esso preceda *Analisi matematica III*, ove vengono introdotte le trasformate di Laplace, comporta che il calcolo simbolico generalizzato debba essere trattato nelle esercitazioni di quest'ultimo corso

Occorre sottolineare come i cinque insegnamenti previsti per il primo anno siano comuni ai tre corsi di laurea del settore dell'informazione, vale a dire: *Elettronica*, *Informatica* e *Telecomunicazioni*. Questo faciliterà 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.

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

- un corso di Elementi di Meccanica Teorica ed *Applicata* destinato a fornire una preparazione di base nel settore della meccanica
- un corso di *Economia e organizzazione aziendale*, nel quale i principi di economia e di gestione aziendale vengono ampliati con cenni di microeconomia

Una nota particolare meritano le discipline di *Teoria dei segnali* e di *Teoria dei sistemi* che, seppur indirizzati a diversi sottosettori dell'elettronica, presentano in comune contenuti a carattere teorico-metodologico che si ritengono indispensabili. Per tale motivo si impone la scelta obbligatoria di almeno una delle due discipline

La preparazione professionale nel campo informatico è fornita da tre insegnamenti:

- *Fondamenti di informatica*: fornisce le nozioni di base relative all'architettura dei sistemi di elaborazione e alla loro programmazione mediante linguaggi di livello superiore (linguaggio C)
- *Sistemi informativi I*: fornisce informazioni approfondite sulla struttura dei sistemi di elaborazione e illustra le metodologie avanzate di programmazione (con particola-

re riferimento alle strutture dati, agli algoritmi, alle grammatiche ed ai linguaggi) e di ingegneria del *software*

- *Sistemi informativi II*: approfondisce le nozioni sull'organizzazione del *software* nei sistemi di elaborazione, con particolare riferimento alle basi di dati, ai sistemi operativi ed ai linguaggi moderni di programmazione

La preparazione professionale nel campo delle telecomunicazioni è fornita da due insegnamenti diversi a seconda che venga o no scelto il corso di *Teoria dei segnali I*:

- *Teoria dei segnali I*: fornisce gli strumenti metodologici fondamentali per la descrizione, l'analisi e la modellizzazione dei segnali, sia di tipo determinato, sia di tipo aleatorio, nonché i principi delle tecniche di trattamento ed elaborazione dei segnali
- *Comunicazioni elettriche*: presenta un modello semplificato di canali di comunicazione e sviluppa le tecniche di trasmissione dei segnali, sia numerici che analogici, sia in banda base che modulati, nonché le tecniche di trasmissione di segnali analogici per via numerica

Coloro che non scelgono *Teoria dei segnali I* seguono un corso di *Comunicazioni elettriche*, non specialistico, quindi devono optare per un altro insegnamento nel raggruppamento disciplinare *Telecomunicazioni*, che non preveda la propedeuticità di *Teoria dei segnali I*, tra quelli attivati nei vari orientamenti.

La preparazione professionale nel campo dei controlli automatici è fornito da uno o due insegnamenti a seconda che venga o no scelto il corso di *Teoria dei sistemi*:

- *Teoria dei sistemi*: imposta l'analisi dei sistemi dinamici continui e discreti con particolare attenzione verso gli aspetti di struttura quali: l'analisi della stabilità in piccolo ed in grande, la controllabilità e l'osservabilità, il problema del regolatore con stima asintotica dello stato, il problema della realizzazione di sistemi ad un ingresso ed una uscita
- *Controlli automatici*: analizza i sistemi dinamici di controllo nei loro diversi aspetti, cioè il modello e le sue approssimazioni, i segnali di comando, le variabili di uscita (da controllare), i disturbi; sviluppa inoltre le tecniche di progetto di controlli in catena chiusa con particolare riferimento ai sistemi lineari con una variabile di ingresso e di uscita

Coloro che non scelgono *Teoria dei sistemi* seguono un corso di *Controlli automatici* non specialistico.

La preparazione professionale nel campo dell'elettromagnetismo e dei fenomeni propagativi è fornita da due insegnamenti:

- *Campi elettromagnetici*: affronta il problema dell'interazione fra campi elettromagnetici e mezzi materiali e fornisce la soluzione delle equazioni di Maxwell in mezzo omogeneo e non omogeneo. Definisce i parametri caratteristici delle antenne e tratta il fenomeno della propagazione guidata con particolare accento alle linee di trasmissione, alle guide d'onda, e alle guide dielettriche
- un corso a scelta nel raggruppamento disciplinare *Campi elettromagnetici*, ad es.: *Microonde, Antenne, Compatibilità elettromagnetica, Campi elettromagnetici II, Componenti e circuiti ottici, Propagazione, Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica*

La preparazione professionale specifica nel campo elettronico componentistico e circuitale è data da quattro insegnamenti:

- *Dispositivi elettronici*: fornisce le nozioni di base che, partendo dalla teoria dei semiconduttori, portano alla descrizione del comportamento fisico dei principali di-

spositivi singoli o integrati e dei relativi modelli globali. Vengono descritti anche i principali passi del processo tecnologico di tipo bipolare e MOS, con cenni all'integrazione a grandissima scala (VLSI)

- *Teoria dei circuiti elettronici*: si propone come interfaccia fra i corsi di *Elettrotecnica* e di *Dispositivi elettronici* da una parte e il corso di *Elettronica applicata* dall'altra. Dopo aver effettuato il passaggio logico dal modello fisico dei componenti a quello elettrico per piccoli o per grandi segnali e fornito alcuni cenni sui problemi connessi con il comportamento non lineare dei circuiti in presenza di grandi segnali, il corso si dedica all'analisi e al progetto di circuiti elettronici attivi con operazionali ideali, destinati all'elaborazione del piccolo segnale. Vengono inoltre trattati aspetti connessi all'analisi e al progetto assistiti dal calcolatore
- *Elettronica applicata*: per quanto concerne l'aspetto analogico studia i circuiti con amplificatori operazionali non ideali, gli amplificatori di potenza e gli alimentatori lineari e a commutazione. Per quanto concerne l'aspetto digitale si definiscono le caratteristiche delle porte logiche, si studiano circuiti delle principali porte logiche elementari e quelli dei circuiti combinatori complessi (PLA, ROM) e l'organizzazione di sistemi digitali complessi. Espone metodologie di progetto di circuiti dedicati. Il corso termina con la trattazione dei circuiti elettrici di interfaccia (*sample and hold*, convertitori analogico-digitale e *multiplexer*)
- almeno un corso a scelta tra *Microelettronica*, *Elettronica delle Microonde*, *Elettronica delle telecomunicazioni*, *Elettronica dei sistemi digitali ed Optoelettronica*

La preparazione professionale specifica nel campo della strumentazione e delle misure, oltre ai già citati corsi di *Teoria dei circuiti elettronici* e di *Elettronica applicata*, è data dall'insegnamento di:

- *Misure elettroniche*: illustra i principi di funzionamento e di uso degli strumenti elettronici più diffusi nelle varie aree di interesse dell'ingegneria elettronica. Inoltre sviluppa i metodi e la strumentazione per le misure su sistemi di comunicazione con cenni su talune applicazioni delle misure di grandezze elettroniche in altre discipline

Il quadro didattico di insegnamenti obbligatori sopra delineato vincola rigidamente 24 insegnamenti. Il quadro complessivo degli insegnamenti obbligatori è sintetizzato nella tabella che segue nella prossima pagina:

## Quadro didattico degli insegnamenti obbligatori

### Corso di laurea in Ingegneria Elettronica

Anno	1° periodo	2° periodo
1	<b>L0231</b> Analisi Matematica I <b>L0620</b> Chimica <b>L2170</b> Fondamenti di Informatica ( <i>annuale</i> )	<b>L2300</b> Geometria <b>L1901</b> Fisica I <b>L2170</b> Fondamenti di Informatica ( <i>annuale</i> )
2	<b>L0232</b> Analisi Matematica II <b>L1902</b> Fisica II <b>L1790</b> Elettrotecnica	<b>L1441</b> Dispositivi Elettronici I <b>L0234</b> Analisi Matematica III (r) <b>L0494</b> Calcolo delle Probabilità (r) <b>L1660</b> Elementi di Meccanica Teorica e Applicata
3	<b>L5770</b> Teoria dei Circuiti Elettronici <b>L0510</b> Calcolo Numerico <b>Z (1)</b>	<b>L5011</b> Sistemi Informativi I <b>L0531</b> Campi Elettromagnetici I <b>L0801</b> Comunicazioni Elettriche (gen) <i>oppure</i> <b>L0802</b> Comunicazioni Elettriche (spec)
4	<b>L3670</b> Misure Elettroniche <b>L1710</b> Elettronica Applicata <b>Z (2)</b>	<b>L4540</b> Reti Logiche <b>L0841</b> Controlli Automatici (gen) <i>oppure</i> <b>L0842</b> Controlli Automatici (spec) <b>Z (3)</b>
5	<b>L1530</b> Economia ed Organizzazione Aziendale <b>Y (2)</b> <b>Y (4)</b> <b>Y (5)<sup>1</sup></b>	<b>Y (1)</b> <b>Y (3)</b> <b>Y (5)<sup>1</sup></b>

<sup>1</sup> I corsi del quinto anno possono avere collocazione diversa nei semestri a secondo dell'orientamento scelto.

## Insegnamenti di orientamento

Il Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica non è suddiviso in indirizzi ma propone solamente degli orientamenti.

Gli orientamenti previsti sono i seguenti:

- Apparat di Telecomunicazioni
- Automazioni e Controlli
- Bioingegneria
- Elettromagnetismo
- Elettronica Digitale
- Elettronica Fisica
- Elettronica Industriale e Meccanica
- Gestionale
- Informatica
- Microelettronica
- Microonde
- Optoelettronica
- Reti di Telecomunicazioni
- Sistemi di Misura
- Tecnologie Elettroniche
- Telerilevamento e Diagnostica dell'Ambiente

Nella scelta dei corsi dell'orientamento o della lista libera occorre rispettare tutte le requisiti previste; in particolare la scelta tra *Teoria dei segnali I* e *Teoria dei sistemi*, segnata esplicitamente in ogni orientamento.

- È possibile scegliere entrambi i corsi e quindi rafforzare la preparazione di base utilizzando uno dei posti non prefissati del V anno. *In questo caso però diventa obbligatoria la scelta del corrispondente corso specialistico di Comunicazioni elettriche o di Controlli automatici, che viene pertanto spostato al II semestre del V anno.*
- Coloro che al terzo anno scelgono Teoria dei sistemi devono inserire al quinto anno un secondo insegnamento del raggruppamento disciplinare di *Comunicazioni elettriche*: in particolare *o Reti di telecomunicazioni I o L4901 Sistemi di radiocomunicazioni I.*
- È possibile scegliere corsi nelle tabelle C e D di carattere ingegneristico ma non direttamente nel settore dell'informazione per rafforzare la preparazione di tipo trasversale (non più di due).
- Nell'ateneo è anche possibile reperire corsi che consentono di aprire una porta verso la cultura storico umanistica, lo studente può scegliere anche un corso nella tabella H.

– 1. Apparati di Telecomunicazioni

- Z (1) L5801 Teoria dei Segnali I  
 Z (2) L0270 Antenne oppure L3570 Microonde  
 Z (3) L1740 Elettronica delle Telecomunicazioni  
 Y (1) L3700 Misure su Sistemi di Trasmissione e Telemisure  
 Y (2) L4920 Sistemi di Telecomunicazioni  
 Y (3) L4902 Sistemi di Radiocomunicazioni II  
 Y (4) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

– *Corsi consigliati:*

- L1590 Elaborazione Numerica dei Segnali  
 L6040 Trasmissione Numerica  
 L5802 Teoria dei segnali II  
 L6120 Elettronica delle Microonde  
 L4360 Propagazione

2. Automazioni e Controlli

- Z (1) **L5811** Teoria dei sistemi (continui)  
 Z (2) Tabella Z2  
 Z (3) **L1730** Elettronica dei Sistemi Digitali  
 Y (1) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (2) **L0850** Controlli dei Processi  
 Y (3) **L0870** Controllo Digitale  
 Y (4) **L4580** Robotica Industriale  
 Y (5) Tabella A,B,C,D o H

– *Corsi consigliati:*

- L0370 Automazione Industriale  
 L3800 Modellistica e Identificazione  
 L5260 Strumentazione e Misure Elettroniche  
 N3460 Metodi di Ottimizzazione nei Sistemi di Controllo  
 L0220 Analisi Funzionale

3. Bioingegneria

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) Tabella Z2  
 Z (3) **L1730** Elettronica dei Sistemi Digitali  
 Y (1) **P0450** Biomeccanica  
 Y (2) **L5240** Strumentazione Biomedica  
 Y (3) **L1570** Elaborazione Dati e Segnali Biomedici  
 Y (4) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

– *Corsi consigliati:*

- L4700 Sensori e Trasduttori  
 L5802 Teoria dei segnali II

## 4. Elettromagnetismo

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) **L3570** Microonde  
 Z (3) **L6120** Elettronica delle Microonde  
 Y (1) **L0532** Campi Elettromagnetici II  
 Y (2) **L0270** Antenne  
 Y (3) **L4360** Propagazione  
 Y (4) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L0770 Componenti e circuiti ottici  
 L2030 Fisica Matematica  
 L3620 Misure a Iperfrequenze  
 LA290 Reti elettriche non lineari

## 5. Elettronica Digitale

- *Obblighi:***N4540 Reti logiche al posto di L4540**

- Z (1) **L5811** Teoria dei sistemi (continui) *oppure*  
**L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) Tabella Z2  
 Z (3) Tabella B  
 Y (1) **N4521** Reti di Calcolatori I  
 Y (2) **N5050** Sistemi per la Progettazione Automatica  
 Y (3) **L1730** Elettronica dei Sistemi Digitali  
 Y (4) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L0300 Architettura dei Sistemi Integrati  
 L1760 Elettronica di Potenza  
 L5012 Sistemi Informativi II

## 6. Elettronica Fisica

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) **L0770** Componenti e Circuiti Ottici  
 Z (3) Tabella Z3  
 Y (1) **L2000** Fisica dello Stato Solido  
 Y (2) **L3050** Istituzioni di Meccanica Quantistica  
 Y (3) **E1994** Fisica delle Superfici (r)  
 Y (3) **L5404** Superconduttività (r)  
 Y (4) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- Q3390 Meccanica Statistica  
 L5691 Tecnologie e Materiali per l'Elettronica I  
 E5341 Struttura della Materia (sper.)  
 F1940 Fisica dei Laser  
 E1920 Fisica degli Stati Condensati

## 7. Elettronica Industriale e Meccanica

- Z (1) **L5811** Teoria dei sistemi (continui)  
 Z (2) Tabella Z2  
 Z (3) **L1730** Elettronica dei Sistemi Digitali  
 Y (1) **N0390** Azionamenti Elettrici per l'Automazione  
 Y (2) **L4580** Robotica Industriale *oppure*  
**P0350** Automazione a Fluido  
 Y (3) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (4) **L1760** Elettronica di Potenza  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L0370 Automazione Industriale  
 L0850 Controllo dei Processi  
 L3130 Macchine Elettriche  
 N0760 Compatibilità Elettromagnetica  
 L3200 Meccanica Analitica

## 8. Gestionale

- Z (1) **L5811** Teoria dei sistemi (continui)  
 Z (2) Tabella Z2  
 Z (3) **F3040** Istituzioni di Economia  
 Y (1) Tabella Z3  
 Y (2) **L1500** Economia e Gestione dei Servizi  
 Y (3) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (4) **L4550** Ricerca Operativa  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L0370 Automazione Industriale  
 L8720 Ottimizzazione  
 L5812 Teoria dei Sistemi (discreti)

## 9. Informatica

- *Obblighi:*

**N4540 Reti logiche al posto di L4540**

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) Tabella Z2  
 Z (3) **L3560** Microelettronica  
 Y (1) **N3000** Intelligenza Artificiale  
 Y (2) **L0300** Architettura dei Sistemi Integrati  
 Y (3) **N0410** Basi di Dati  
 Y (4) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (5) **N4520** Reti di Calcolatori I

- *Corsi consigliati:*

- N5050 Sistemi per la Progettazione Automatica  
 N2941 Ingegneria del *Software* I  
 L1730 Elettronica dei Sistemi Digitali

## 10. Microelettronica

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) Tabella Z2  
 Z (3) **L3560** Microelettronica  
 Y (1) Tabella B  
 Y (2) **L0300** Architettura dei Sistemi Integrati  
 Y (3) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (4) **L5691** Tecnologie e Materiali per l'Elettronica I  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L3800 Modellistica e Identificazione  
 N5050 Sistemi per la Progettazione Automatica  
 L2000 Fisica dello Stato Solido  
 L1740 Elettronica delle Telecomunicazioni  
 LA290 Reti Elettriche non lineari

## 11. Microonde

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) **L3570** Microonde  
 Z (3) **L6120** Elettronica delle Microonde  
 Y (1) **L3620** Misure a Iperfrequenze  
 Y (2) **L4290** Sistemi di Telecomunicazioni  
 Y (3) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (4) **L0270** Antenne  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L3050 Istituzioni di Meccanica Quantistica  
 L5691 Tecnologie e Materiali per l'Elettronica I  
 E5341 Struttura della Materia (sper.)  
 LA290 Reti Elettriche non lineari

## 12. Optoelettronica

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) **L0770** Componenti e Circuiti Ottici  
 Z (3) **L3870** Optoelettronica  
 Y (1) **E1445** Dispositivi Elettronici II/Elettronica allo Stato Solido (i)  
 Y (2) **F6040** Trasmissione Numerica  
 Y (3) **L0810** Comunicazioni ottiche  
 Y (4) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L3050 Istituzioni di Meccanica Quantistica  
 L5691 Tecnologie e Materiali per l'Elettronica I  
 F1940 Fisica dei Laser  
 L1740 Elettronica delle Telecomunicazioni

## 13. Reti di Telecomunicazioni

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) Tabella Z2  
 Z (3) **L1740** Elettronica delle Telecomunicazioni  
 Y (1) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (2) **F4531** Reti di Telecomunicazioni I  
 Y (3) **F4532** Reti di Telecomunicazioni II  
 Y (4) **L4850** Sistemi di Commutazione  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L4901 Sistemi di Radiocomunicazioni I  
 L5870 Teoria dell'Informazione e Codici  
 LA290 Reti Elettriche non lineari

## 14. Sistemi di Misura

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) Tabella Z2  
 Z (3) **L1730** Elettronica dei Sistemi Digitali  
 Y (1) **L0760** Compatibilità Elettromagnetica  
 Y (2) **L5260** Strumentazione e Misure Elettroniche  
 Y (3) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (4) **L4700** Sensori e Trasduttori  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L2150 Fondamenti della Misurazione e Metrologia Generale Elettrica  
 L3620 Misure a Iperfrequenze  
 L5870 Teoria dell'Informazione e Codici

## 15. Tecnologie Elettroniche

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) Tabella Z2  
 Z (3) **L6120** Elettronica delle Microonde *oppure*  
**L3870** Optoelettronica  
 Y (1) **L5955** Termodinamica Applicata/Acustica Applicata e Illuminotecnica (i)  
 Y (2) **L5691** Tecnologie e Materiali per l'Elettronica I  
 Y (3) **L5692** Tecnologie e Materiali per l'Elettronica II  
 Y (4) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L3050 Istituzioni di Meccanica Quantistica  
 L2000 Fisica dello Stato Solido  
 E4681 Scienza e Tecnologia dei Materiali Polimerici I  
 L1754 Elettronica dello Stato Solido (r)  
 E1994 Fisica delle Superfici (r)

## 16. Telerilevamento e Diagnostica dell'Ambiente

- Z (1) **L5801** Teoria dei segnali I  
 Z (2) **L5750** Telerilevamento e Diagnostica Elettromagnetica  
 Z (3) Tabella Z3  
 Y (1) **L4360** Propagazione  
 Y (2) **L5260** Strumentazione e Misure Elettroniche  
 Y (3) Tabella A, B, C, D o H  
 Y (4) **L3800** Modellistica e Identificazione  
 Y (5) Tabella A, B, C, D o H

- *Corsi consigliati:*

- L4700 Sensori e Trasduttori  
 N3000 Intelligenza Artificiale  
 L5802 Teoria dei Segnali II

## Tabella A (I periodo)

- L0270** Antenne  
**L0300** Architettura dei sistemi integrati  
**L0370** Automazione industriale  
**L0770** Componenti e circuiti ottici  
**L0850** Controllo dei processi  
**L1500** Economia e gestione dei servizi  
**L1590** Elaborazione numerica dei segnali  
**L1760** Elettronica di potenza  
**L1770** Elettronica industriale di potenza  
**L2030** Fisica matematica  
**L2150** Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica  
**L2850** Informatica grafica  
**L3050** Istituzioni di meccanica quantistica  
**L3130** Macchine elettriche  
**L3570** Microonde  
**L3800** Modellistica e identificazione  
**L4290** Sistemi di telecomunicazioni  
**F4531** Reti di telecomunicazioni I  
**L4550** Ricerca operativa  
**L4580** Robotica industriale  
**L4700** Sensori e trasduttori  
**L4850** Sistemi di commutazione  
**L4901** Sistemi di radiocomunicazioni I  
**N5050** Sistemi per la progettazione automatica  
**L5240** Strumentazione biomedica  
**L5260** Strumentazione e misure elettroniche  
**L5691** Tecnologie e materiali per l'elettronica I  
**L5750** Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica  
**L5801** Teoria dei segnali I  
**L5811** Teoria dei sistemi (continui)  
**L6040** Trasmissione numerica

## Tabella B (II periodo)

<b>LA304</b>	Acustica applicata e illuminotecnica (r) (°°)
<b>L0220</b>	Analisi funzionale
<b>N0390</b>	Azionamenti elettrici per l'automazione
<b>N0410</b>	Basi di dati
<b>L0532</b>	Campi elettromagnetici II
<b>L0760</b>	Compatibilità Elettromagnetica
<b>L0810</b>	Comunicazioni ottiche
<b>L0870</b>	Controllo digitale
<b>E1445</b>	Dispositivi elettronici II/Elettronica allo stato solido (i) (°)
<b>L1570</b>	Elaborazione dati e segnali biomedici
<b>L1730</b>	Elettronica dei sistemi digitali
<b>L1740</b>	Elettronica delle telecomunicazioni
<b>L6120</b>	Elettronica delle microonde (°)
<b>L1754</b>	Elettronica dello stato solido (r)
<b>F1940</b>	Fisica dei laser
<b>E1994</b>	Fisica delle superfici (r)
<b>L2000</b>	Fisica dello stato solido
<b>N2941</b>	Ingegneria del <i>software</i> I
<b>N3000</b>	Intelligenza artificiale
<b>L3200</b>	Meccanica analitica
<b>N3460</b>	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo
<b>L3560</b>	Microelettronica
<b>L3620</b>	Misure a iperfrequenze
<b>L3700</b>	Misure su sistemi di trasmissione e telemisure
<b>L3870</b>	Optoelettronica
<b>L8720</b>	Ottimizzazione
<b>L4360</b>	Propagazione
<b>N4521</b>	Reti di calcolatori I
<b>F4532</b>	Reti di telecomunicazioni II
<b>LA290</b>	Reti elettriche non lineari
<b>L4902</b>	Sistemi di radiocomunicazione II
<b>L5012</b>	Sistemi informativi II
<b>E5341</b>	Struttura della materia (sper.)
<b>L5404</b>	Superconduttività (r)
<b>L5692</b>	Tecnologie e materiali per l'elettronica II
<b>L5802</b>	Teoria dei segnali II
<b>L5812</b>	Teoria dei sistemi (discreti)
<b>L5870</b>	Teoria dell'informazione e codici
<b>L5954</b>	Termodinamica applicata (r) (°°)
<b>L5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i) (°°)

## Nota

(°) I corsi **E1445** *Dispositivi elettronici II/Elettronica allo Stato Solido (i)* e **L6120** *Elettronica delle Microonde* sono incompatibili.

(°°) **L5955** *Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)* è incompatibile con i due corsi ridotti: **L5954** *Termodinamica applicata (r)* - **LA034** *Acustica applicata e illuminotecnica (r)*.

## Tabella Z2

<b>L0270</b>	Antenne
<b>L0770</b>	Componenti e circuiti ottici
<b>L3570</b>	Microonde
<b>L5750</b>	Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica

## Tabella Z3

<b>L1730</b>	Elettronica dei sistemi digitali
<b>L6120</b>	Elettronica delle microonde
<b>L3560</b>	Microelettronica
<b>L1740</b>	Elettronica delle telecomunicazioni
<b>L3870</b>	Optoelettronica

## Tabella C Corsi più generali del 1° semestre

<b>B0050</b>	Aerodinamica
<b>P0350</b>	Automazione a fluido
<b>H0400</b>	Azionamenti per trazione elettrica
<b>C0694</b>	Chimica organica (r)
<b>P1165</b>	Criogenia/Tecnica del freddo (i)
<b>B1250</b>	Dinamica del volo
<b>M1490</b>	Economia dell'impresa
<b>D2190</b>	Fotogrammetria
<b>M2460</b>	Gestione industriale della qualità
<b>D2490</b>	Idraulica
<b>H2780</b>	Impianti per la cogenerazione e il risparmio energetico
<b>P3100</b>	Logistica industriale
<b>P3280</b>	Meccanica dei robot
<b>P4090</b>	Produzione assistita da calcolatore
<b>R4470</b>	Recupero delle materie prime secondarie
<b>E4590</b>	Scienza dei materiali
<b>E4630</b>	Scienza e tecnologia dei materiali ceramici
<b>M5020</b>	Sistemi integrati di produzione
<b>H5450</b>	Tecnica della sicurezza elettrica
<b>D5490</b>	Tecnica ed economia dei trasporti

## Tabella D Corsi più generali del 2° semestre

<b>H0290</b>	Applicazioni industriali elettriche
<b>G0311</b>	Architettura e composizione architettonica I
<b>P0450</b>	Biomeccanica
<b>D0580</b>	Cartografia numerica
<b>H0890</b>	Conversione statica dell'energia elettrica
<b>E0910</b>	Corrosione e protezione dei materiali metallici
<b>R1220</b>	Dinamica degli inquinanti
<b>P1810</b>	Energetica
<b>E1920</b>	Fisica degli stati condensati
<b>D2200</b>	Fotogrammetria applicata
<b>H2370</b>	Gestione dei progetti di impianto
<b>D2500</b>	Idraulica ambientale
<b>H2710</b>	Impianti elettrici a media e bassa tensione
<b>H2701</b>	Impianti elettrici I
<b>H2720</b>	Impianti industriali
<b>M3030</b>	Istituzioni di diritto pubblico e privato
<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
<b>N3460</b>	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo
<b>M3740</b>	Modelli per il supporto alle decisioni
<b>E3880</b>	Ottica
<b>P3910</b>	Pianificazione dei trasporti
<b>R3920</b>	Pianificazione e gestione delle aree metropolitane
<b>E4370</b>	Proprietà termofisiche dei materiali
<b>E4681</b>	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I
<b>Q4740</b>	Sicurezza e analisi di rischio
<b>P4980</b>	Sistemi elettrici industriali
<b>H4980</b>	Sistemi elettrici per l'energia
<b>M5175</b>	Statistica aziendale/Marketing industriale (i)
<b>C5440</b>	Tecnica della sicurezza ambientale

## Tabella H 1° o 2° periodo

- *annuali*

- A8140** Geografia urbana e regionale
- A2150** Gestione urbanistica del territorio
- A3140** Storia della città e del territorio
- A3155** Storia della tecnologia
- A3170** Teoria del restauro
- A5130** Ubicazione e distribuzione della produzione dell'energia

- *1° semestre*

- R1640** Elementi di ecologia
- G5200** Storia dell'architettura
- G5210** Storia dell'architettura e dell'urbanistica
- W9721** Sociologia urbana (r)
- W2091** Storia dell'architettura contemporanea
- P5410** Tecnica del controllo ambientale
- W3731** Teoria e storia del restauro/Restauro architettonico (i) (r)

- *2° semestre*

- W2711** Storia dell'architettura moderna
- W2141** Storia dell'urbanistica
- G6090** Urbanistica



# Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

## Profilo professionale

Il profilo professionale del nuovo corso di laurea in *Ingegneria informatica* presso il Politecnico di Torino è stato disegnato in assoluta coerenza con gli obiettivi ed il piano di studi impostati, a livello nazionale, per la nuova laurea, anche in armonia con gli orientamenti degli altri paesi della Unione Europea.

La figura dell'ingegnere informatico, così come appare dal disegno predisposto, è il risultato di una più che decennale elaborazione di programmi di insegnamento e di contenuti culturali, successivamente affinati e focalizzati in base alle esigenze del mercato del lavoro altamente specializzato in questo settore, che richiede contemporaneamente qualità e quantità di laureati in molti campi dei più avanzati settori dell'innovazione tecnologica.

La base culturale della nuova laurea ha due fondamentali componenti, che trovano corrispondenza in un'articolazione di quest'ultima in due *Indirizzi*:

1. Sistemi ed Applicazioni Informatici
2. Automatica e Sistemi di Automazione Industriale.

che, in campo internazionale vanno sotto il nome rispettivamente di *computer engineering* e di *system and control engineering*.

La figura dell'ingegnere informatico è finalizzata alla progettazione, al dimensionamento ed alla conduzione di impianti di elaborazione nell'ambiente aziendale ed industriale, con una solida base comune, tipica della figura dell'ingegnere, ma con una duplice possibilità di approfondimento professionale. L'una più orientata alla progettazione, al dimensionamento ed alla conduzione di impianti di elaborazione, l'altra più orientata all'uso di sistemi informatici per l'automazione industriale, per il controllo e la gestione dei sistemi complessi. Pertanto, la figura di questo ingegnere appare molto diversa da quella del laureato in "Informatica" presso le Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali delle Università, che è orientato prevalentemente alla progettazione ed allo sviluppo dei programmi per sistemi di elaborazione.

La padronanza della cultura scientifico-tecnologica propria dell'ingegnere, la conoscenza approfondita dell'elettronica analogica e digitale, la bilanciata competenza professionale nei settori dell'*hardware* e del *software*, sono ulteriori elementi che caratterizzano la nuova laurea in *Ingegneria informatica*, soprattutto per quanto concerne l'indirizzo *Sistemi ed applicazioni informatici*. La stessa padronanza della cultura scientifico-tecnologica propria dell'ingegnere, la conoscenza finalizzata, oltre che dell'elettronica analogica e digitale, anche delle altre basi ingegneristiche degli impianti, dei sistemi di macchine e della loro conduzione ottimale, nonché delle metodologie e delle tecniche di sviluppo per l'architettura degli algoritmi e degli apparati adibiti all'automazione ed al controllo, sono altrettanti elementi che caratterizzano l'indirizzo *Automatica e sistemi di automazione industriale*.

L'impostazione specifica del nuovo corso di laurea del Politecnico di Torino riflette la realtà tecnologica ed industriale piemontese. Torino può forse essere considerata la capitale dell'informatica e dell'automatica europea, come tendono a dimostrare alcuni indicatori significativi della sua provincia, dal fatturato dei produttori di calcolatori, al robot e di impianti di automazione installati.

In questo quadro si è dato alla nuova laurea un orientamento specifico verso il dimensionamento e la progettazione di impianti informativi, specie nel settore industriale, verso la progettazione di *hardware* e *software* di base per calcolatori, verso la progettazione dei sistemi mediante l'uso delle tecnologie d'avanguardia, verso i metodi e gli strumenti per l'integrazione tecnologica ed industriale dell'elaborazione e della commutazione, verso la gestione automatizzata di sistemi complessi, sia produttivi sia decisionali, o di loro componenti altamente sofisticati quali i robot ed i sistemi esperti.

Come conseguenza di questa specifica impostazione, la laurea fornisce specialisti non soltanto per le aziende produttrici o utenti di strutture informatiche e per l'automazione, quantitativamente e qualitativamente assai rilevanti nell'area piemontese, ma anche per numerosi ed importanti settori confinanti. Fra le aree di confine con l'informatica e l'automatica, ove potranno trovare impiego i nuovi ingegneri informatici, orientati verso l'uno o l'altro degli indirizzi previsti, le più importanti sono quelle delle telecomunicazioni, dell'elettronica circuitale, delle misure e del collaudo, degli impianti di produzione nelle industrie manifatturiere o energetiche appartenenti ai vari settori tecnologici, dall'elettronica alla meccanica, dei sistemi di trasporto e della gestione delle aziende private o degli enti pubblici.

Insegnamenti obbligatori

La scelta proposta per gli insegnamenti obbligatori è mirata a fornire una preparazione, sia di base sia specifica tecnico-professionale, congruente con il profilo professionale precedentemente esposto.

Per quanto riguarda la formazione matematica di base, oltre al *corpus* tradizionalmente impartito negli attuali insegnamenti del biennio, seppur parzialmente rivisti al fine di dedicare, ad esempio, maggior spazio alla matematica discreta, vengono introdotti due insegnamenti di mezza annualità ciascuno:

*Calcolo delle Probabilità (r)*

*Analisi Matematica III (r)*

La preparazione di base è completata da un corso di *Chimica*, due di *Fisica* e uno di *Elettrotecnica*. Un'attenta ridefinizione dei programmi ha consentito l'inserimento, nell'ambito dei corsi di *Fisica* e di *Elettrotecnica*, di elementi rispettivamente di fisica moderna e di campi elettromagnetici.

Occorre qui sottolineare come i cinque insegnamenti previsti per il primo anno siano comuni ai tre corsi di laurea del settore dell'informazione, vale a dire: *Elettronica*, *Informatica* e *delle Telecomunicazioni*. Questo faciliterà 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. La cultura ingegneristica di base è fornita da tre corsi a spettro ampio, ed in particolare:

un corso di *Elementi di Meccanica Teorica ed Applicata* destinato a fornire una preparazione di base nel settore della meccanica

un corso di *Economia ed organizzazione aziendale*, nel quale i principi di economia e di gestione aziendale vengono integrati con concetti di macro e microeconomia

un corso di *Comunicazioni elettriche*, destinato a fornire una preparazione di base nel settore delle telecomunicazioni.

La preparazione professionale nel campo elettronico-circuitale è data dai due insegnamenti di *Elettronica applicata I* ed *Elettronica applicata II*, destinati a coprire i vari aspetti dell'elettronica analogica, digitale e della microelettronica, da un punto di vista sia applicativo sia tecnologico.

La preparazione professionale specifica nel campo informatico è fornita da quattro insegnamenti:

*Fondamenti di informatica I*: fornisce le nozioni di base relative all'architettura dei sistemi di elaborazione ed alla loro programmazione.

*Fondamenti di informatica II*: affronta le problematiche connesse alle metodologie avanzate di programmazione, con particolare riferimento agli algoritmi, alle strutture dati, alla teoria della computabilità.

*Calcolatori elettronici*: esamina nei dettagli gli aspetti architetture dei sistemi di elaborazione e della programmazione a livello assembler.

*Reti logiche*: fornisce le metodologie di analisi e di progetto di sistemi digitali di diversa complessità, unitamente ai relativi strumenti CAD disponibili sul mercato.

La preparazione professionale specifica nel campo della Ricerca Operativa è fornita dal corso omonimo *Ricerca operativa*, nel quale ne vengono presentate le basi algoritmico-metodologiche.

La preparazione professionale nel campo dei controlli automatici è differenziata per i due indirizzi.

Per l'indirizzo *Sistemi ed applicazioni informatici* si rendono obbligatori i seguenti corsi:

*Teoria dei sistemi (discreti)*: fornisce le basi per l'analisi dei sistemi ad eventi discreti.

*Controlli automatici (generale)*: fornisce le basi per l'analisi dei sistemi continui e per il progetto di sistemi di controllo.

Per l'indirizzo *Automatica e Sistemi di automazione industriale* si rendono obbligatori i seguenti corsi:

*Teoria dei sistemi (continui)*: fornisce le basi per l'analisi dei sistemi continui.

*Controlli automatici (specialistico)*: fornisce le basi per il progetto di sistemi di controllo.

### **Indirizzo: Sistemi ed Applicazioni Informatici**

L'indirizzo *Sistemi ed Applicazioni Informatici* fornisce le nozioni relative alla struttura ed ai criteri di progetto dei sistemi di elaborazione, all'*hardware* ed al *software* di base, con particolare riferimento a:

architetture dei sistemi di elaborazione

progetto di sistemi di elaborazione

reti di calcolatori

ingegneria del *software*

linguaggi di programmazione e relativi compilatori

organizzazione e gestione di basi di dati

elaborazione di segnali ed immagini

sistemi informativi aziendali.

L'Indirizzo risulta pertanto articolato nei seguenti Orientamenti:

*Hardware progetto*

*Hardware sistemi*

*Reti di calcolatori*

*Elaborazione dell'informazione non numerica*

*Ingegneria del software*

*Informatica gestionale.*

Poiché si ritiene che tutti gli Ingegneri Informatici che seguono questo Indirizzo, indipendentemente dalla specializzazione, debbano avere delle conoscenze di base comuni relative ai settori dell'Ingegneria del *software*, delle Reti di calcolatori e delle Basi di dati, gli orientamenti proposti risultano caratterizzati da sette corsi, di cui:

tre comuni a tutti:

- **N0410** Basi di dati
- **N2941** Ingegneria del *software* I
- **N4521** Reti di calcolatori I

tre caratterizzanti l'orientamento

uno a scelta dello studente.

### **Orientamento Hardware progetto**

Mira a fornire le metodologie e le tecniche necessarie per la progettazione *hardware* di sistemi digitali di diversa complessità. Particolare enfasi viene posta sulla progettazione gerarchica e modulare, sulla verifica della correttezza del progetto, sugli strumenti CAE di ausilio alla progettazione e sulle problematiche del collaudo nelle varie fasi della vita di un sistema.

Gli insegnamenti caratterizzanti sono i seguenti:

- **N5050** Sistemi per la progettazione automatica
- **N1730** Elettronica dei sistemi digitali
- **N3690** Misure per l'automazione e la produzione industriale.

L'organizzazione generale dell'Orientamento è riportata in Tabella1; l'insegnamento mancante per il raggiungimento delle richieste 29 annualità può essere liberamente scelto tra uno di quelli elencati nella Tabella2.

Tabella 1 Orientamento *Hardware progetto*

<i>Anno</i>	<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
1	<b>N0231</b> <b>N0620</b> <b>N2171</b>	Analisi Matematica I Chimica Fondam. di Informatica I (annuale)	<b>N2300</b> <b>N1901</b> <b>N2171</b>	Geometria Fisica I Fondam. di Informatica I (annuale)
2	<b>N0232</b> <b>N1902</b> <b>N2172</b>	Analisi Matematica II Fisica II Fondamenti di Informatica II	<b>N0494</b> <b>N0234</b> <b>N1790</b> <b>N1660</b>	Calcolo delle Probabilità (r) Analisi Matematica III (r) Elettrotecnica Elem. di Meccanica Teorica ed Appl.
3	<b>N1711</b> <b>N0460</b> <b>N0841</b>	Elettronica Applicata I Calcolatori Elettronici Controlli automatici (gen)	<b>N4540</b> <b>N0800</b> <b>N5812</b>	Reti Logiche Comunicazioni elettriche Teoria dei sistemi (discreti)
4	<b>N1712</b> <b>N5030</b> <b>N4550</b>	Elettronica Applicata II Sistemi Operativi Ricerca operativa	<b>N1730</b> <b>N4521</b> <b>N2941</b>	Elettronica dei sistemi digitali Reti di calcolatori I Ingegneria del <i>software</i> I
5	<b>N4881</b> <b>N5050</b>	Sistemi di Elaborazione I Sistemi per la progettazione automatica	<b>N3690</b> <b>N0410</b> <b>N1530</b>	Misure per l'automazione e la produzione industriale Basi di dati Economia ed organiz. aziendale

Tabella 2

1° Periodo		2° Periodo	
<b>P0350</b>	Automazione a fluido	<b>L0220</b>	Analisi funzionale
<b>N0370</b>	Automazione industriale	<b>N0390</b>	Azionamenti elettrici per l'automaz.
<b>L0510</b>	Calcolo numerico	<b>F0531</b>	Campi elettromagnetici I
<b>N0850</b>	Controllo dei processi	<b>N0870</b>	Controllo digitale
<b>G1360</b>	Disciplina giuridica delle attività tecnico - ingegneristiche	<b>B1260</b>	Dinamica del volo spaziale
<b>N7060</b>	Economia dei sistemi industriali	<b>L1441</b>	Dispositivi elettronici I
<b>L1500</b>	Economia e gestione dei servizi	<b>M1560</b>	Economia politica
<b>L1760</b>	Elettronica di potenza	<b>L6120</b>	Elettronica delle microonde
<b>L1770</b>	Elettronica industriale di potenza	<b>D1870</b>	Esercizio dei sistemi di trasporto
<b>L2150</b>	Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica	<b>E1920</b>	Fisica degli stati condensati
<b>M2460</b>	Gestione industriale della qualità	<b>F1940</b>	Fisica dei laser
<b>B2570</b>	Impianti aeronautici	<b>L2000</b>	Fisica dello stato solido
<b>N2850</b>	Informatica grafica	<b>H2701</b>	Impianti elettrici I
<b>N2942</b>	Ingegneria del <i>software</i> II	<b>M2720</b>	Impianti industriali
<b>L3130</b>	Macchine elettriche	<b>N3000</b>	Intelligenza artificiale
<b>H3660</b>	Misure elettriche	<b>M3030</b>	Istituzioni di diritto pubblico e privato
<b>L3670</b>	Misure elettroniche	<b>N3040</b>	Istituzioni di economia
<b>N3800</b>	Modellistica e identificazione	<b>N3070</b>	Linguaggi e traduttori
<b>E3880</b>	Ottica	<b>L3200</b>	Meccanica analitica
<b>D3910</b>	Pianificazione dei trasporti	<b>N3460</b>	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo
<b>D4180</b>	Progettazione dei sistemi di trasporto	<b>L3560</b>	Microelettronica
<b>N4522</b>	Reti di calcolatori II	<b>L3700</b>	Misure su sistemi di trasmissione e telemisure
<b>N4580</b>	Robotica industriale	<b>M3740</b>	Modelli per il supporto delle decisioni

segue Tabella 2

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>H4600</b>	Scienza delle costruzioni	<b>L3870</b>	Optoelettronica
<b>L4700</b>	Sensori e trasduttori	<b>N8720</b>	Ottimizzazione
<b>L4850</b>	Sistemi di commutazione	<b>F4532</b>	Reti di Telecomunicazioni II
<b>L4901</b>	Sistemi di radiocomunica- zione I	<b>LA290</b>	Reti elettriche non lineari
<b>G5200</b>	Storia dell'architettura	<b>E4681</b>	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I
<b>G5210</b>	Storia dell'architettura e dell'urbanistica	<b>N4882</b>	Sistemi di elaborazione II
<b>L5240</b>	Strumentazione biomedica	<b>M5175</b>	Statistica aziendale / Marketing industriale (i)
<b>L5260</b>	Strumentazione e misure elettroniche	<b>A3155</b>	Storia della tecnica
<b>H5450</b>	Tecnica della sicurezza elettrica	<b>F5870</b>	Teoria dell'informazione e codici
<b>D5490</b>	Tecnica ed economia dei trasporti	<b>L5954</b>	Teoria e tecnica della circolazione
<b>L5691</b>	Tecnologie e materiali per l'elettronica I	<b>L5955</b>	Termodinamica applicata / Acustica applicata ed Illuminotecnica (i)
<b>N5730</b>	Telematica		
<b>F6040</b>	Trasmissione numerica		

**Orientamento Hardware sistemi**

Mira ad approfondire le problematiche relative ai sistemi di elaborazione, con particolare riferimento agli aspetti architetture, impiantistici, sistemistici e progettuali a livello sistema.

Gli insegnamenti caratterizzanti sono i seguenti:

- **N4882** Sistemi di elaborazione II
- **N4522** Reti di calcolatori II
- **N5050** Sistemi per la progettazione automatica.

L'organizzazione generale dell'Orientamento è riportata in Tabella 3; l'insegnamento mancante per il raggiungimento delle richieste 29 annualità può essere liberamente scelto tra uno di quelli elencati nella Tabella 4.

Tabella 3: Orientamento *Hardware sistemi*

<i>Anno</i>	<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
1	<b>N0231</b>	Analisi Matematica I	<b>N2300</b>	Geometria
	<b>N0620</b>	Chimica	<b>N1901</b>	Fisica I
	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)
2	<b>N0232</b>	Analisi Matematica II	<b>N0494</b>	Calcolo delle Probabilità (r)
	<b>N1902</b>	Fisica II	<b>N0234</b>	Analisi Matematica III (r)
	<b>N2172</b>	Fondamenti di Informatica II	<b>N1790</b>	Elettrotecnica
			<b>N1660</b>	Elementi di Meccanica Teorica ed Appl.
3	<b>N1711</b>	Elettronica Applicata I	<b>N4540</b>	Reti Logiche
	<b>N0460</b>	Calcolatori Elettronici	<b>N0800</b>	Comunicazioni elettriche
	<b>N0841</b>	Controlli automatici (gen)	<b>N5812</b>	Teoria dei sistemi (discreti)
4	<b>N1712</b>	Elettronica Applicata II	<b>N0410</b>	Basi di dati
	<b>N5030</b>	Sistemi Operativi	<b>N4521</b>	Reti di calcolatori I
	<b>N4550</b>	Ricerca operativa	<b>N2941</b>	Ingegneria del <i>software</i> I
5	<b>N4881</b>	Sistemi di Elaborazione I	<b>N4882</b>	Sistemi di elaborazione II
	<b>N4522</b>	Reti di calcolatori II	<b>N1530</b>	Economia ed organizzazione aziendale
	<b>N5050</b>	Sistemi per la progetta- zione automatica		

Tabella 4

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>P0350</b>	Automazione a fluido	<b>L0220</b>	Analisi funzionale
<b>N0370</b>	Automazione industriale	<b>N0390</b>	Azionamenti elettrici per l'automaz.
<b>L0510</b>	Calcolo numerico	<b>F0531</b>	Campi elettromagnetici I
<b>N0850</b>	Controllo dei processi	<b>N0870</b>	Controllo digitale
<b>G1360</b>	Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche	<b>B1260</b>	Dinamica del volo spaziale
<b>N7060</b>	Economia dei sistemi industriali	<b>L1441</b>	Dispositivi elettronici I
<b>L1500</b>	Economia e gestione dei servizi	<b>M1560</b>	Economia politica
<b>L1760</b>	Elettronica di potenza	<b>L6120</b>	Elettronica delle microonde
<b>L1770</b>	Elettronica industriale di potenza	<b>N1730</b>	Elettronica dei sistemi digitali
<b>L2150</b>	Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica	<b>D1870</b>	Esercizio dei sistemi di trasporto
<b>M2460</b>	Gestione industriale della qualità	<b>E1920</b>	Fisica degli stati condensati
<b>B2570</b>	Impianti aeronautici	<b>F1940</b>	Fisica dei laser
<b>N2850</b>	Informatica grafica	<b>L2000</b>	Fisica dello stato solido
<b>N2942</b>	Ingegneria del <i>software</i> II	<b>H2701</b>	Impianti elettrici I
<b>L3130</b>	Macchine elettriche	<b>M2720</b>	Impianti industriali
<b>H3660</b>	Misure elettriche	<b>N3000</b>	Intelligenza artificiale
<b>L3670</b>	Misure elettroniche	<b>M3030</b>	Istituzioni di diritto pubblico e privato
<b>N3800</b>	Modellistica e identificazione	<b>N3040</b>	Istituzioni di economia
<b>E3880</b>	Ottica	<b>N3070</b>	Linguaggi e traduttori
<b>D3910</b>	Pianificazione dei trasporti	<b>L3200</b>	Meccanica analitica
<b>D4180</b>	Progettazione dei sistemi di trasporto	<b>N3460</b>	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo
<b>N4580</b>	Robotica industriale	<b>L3560</b>	Microelettronica
<b>H4600</b>	Scienza delle costruzioni	<b>N3690</b>	Misure per l'automazione e la produzione industriale
<b>L4700</b>	Sensori e trasduttori	<b>L3700</b>	Misure su sistemi di trasmissione e telemisure

segue Tabella 4

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>L4850</b>	Sistemi di commutazione	<b>M3740</b>	Modelli per il supporto delle decisioni
<b>L4901</b>	Sistemi di radiocomunicazione I	<b>L3870</b>	Optoelettronica
<b>G5200</b>	Storia dell'architettura	<b>N8720</b>	Ottimizzazione
<b>G5210</b>	Storia dell'architettura e dell'urbanistica	<b>F4532</b>	Reti di Telecomunicazioni II
<b>L5240</b>	Strumentazione biomedica	<b>LA290</b>	Reti elettriche non lineari
<b>L5260</b>	Strumentazione e misure elettroniche	<b>E4681</b>	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I
<b>H5450</b>	Tecnica della sicurezza elettrica	<b>M5175</b>	Statistica aziendale / Marketing industriale (i)
<b>D5490</b>	Tecnica ed economia dei trasporti	<b>A3155</b>	Storia della tecnica
<b>L5691</b>	Tecnologie e materiali per l'elettronica I	<b>F5870</b>	Teoria dell'informazione e codici
<b>N5730</b>	Telematica	<b>D5880</b>	Teoria e tecnica della circolazione
<b>F6040</b>	Trasmissione numerica	<b>L5955</b>	Termodinamica applicata / Acustica applicata ed Illuminotecnica (i)

### Orientamento Reti di calcolatori

Mira ad approfondire le problematiche relative alla scelta, al progetto, alla realizzazione fisica di sistemi di interconnessione tra elaboratori.

Gli insegnamenti caratterizzanti sono i seguenti:

- **N4522** Reti di calcolatori II
- **F5730** Telematica
- **N4850** Sistemi di commutazione.

L'organizzazione generale dell'Orientamento è riportata in Tabella 5; l'insegnamento mancante per il raggiungimento delle richieste 29 annualità può essere liberamente scelto tra uno di quelli elencati nella Tabella 6.

Tabella 5: Orientamento Reti di calcolatori

Anno	1° Periodo		2° Periodo	
1	<b>N0231</b>	Analisi Matematica I	<b>N2300</b>	Geometria
	<b>N0620</b>	Chimica	<b>N1901</b>	Fisica I
	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)
2	<b>N0232</b>	Analisi Matematica II	<b>N0494</b>	Calcolo delle Probabilità (r)
	<b>N1902</b>	Fisica II	<b>N0234</b>	Analisi Matematica III (r)
	<b>N2172</b>	Fondamenti di Informatica II	<b>N1790</b>	Elettrotecnica
3			<b>N1660</b>	Elem. di Meccanica Teorica ed Appl.
	<b>N1711</b>	Elettronica Applicata I	<b>N4540</b>	Reti Logiche
	<b>N0460</b>	Calcolatori Elettronici	<b>N0800</b>	Comunicazioni elettriche
4	<b>N0841</b>	Controlli automatici (gen)	<b>N5812</b>	Teoria dei sistemi (discreti)
	<b>N1712</b>	Elettronica Applicata II	<b>N4521</b>	Reti di calcolatori I
	<b>N5030</b>	Sistemi Operativi	<b>N0410</b>	Basi di dati
5	<b>N4550</b>	Ricerca operativa	<b>N2941</b>	Ingegneria del <i>software</i> I
	<b>N4881</b>	Sistemi di Elaborazione I	<b>N1530</b>	Economia ed organiz. aziendale
	<b>N4522</b>	Reti di calcolatori II		
<b>N5730</b>	Telematica			
<b>N4850</b>	Sistemi di commutazione			

Tabella 6

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>P0350</b>	Automazione a fluido	<b>L0220</b>	Analisi funzionale
<b>N0370</b>	Automazione industriale	<b>N0390</b>	Azionamenti elettrici per l'automaz.
<b>L0510</b>	Calcolo numerico	<b>F0531</b>	Campi elettromagnetici I
<b>N0850</b>	Controllo dei processi	<b>N0870</b>	Controllo digitale
<b>G1360</b>	Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche	<b>B1260</b>	Dinamica del volo spaziale
<b>N7060</b>	Economia dei sistemi industriali	<b>L1441</b>	Dispositivi elettronici I
<b>L1500</b>	Economia e gestione dei servizi	<b>M1560</b>	Economia politica
<b>L1760</b>	Elettronica di potenza	<b>L6120</b>	Elettronica delle microonde
<b>L1770</b>	Elettronica industriale di potenza	<b>N1730</b>	Elettronica dei sistemi digitali
<b>L2150</b>	Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica	<b>D1870</b>	Esercizio dei sistemi di trasporto
<b>M2460</b>	Gestione industriale della qualità	<b>E1920</b>	Fisica degli stati condensati
<b>B2570</b>	Impianti aeronautici	<b>F1940</b>	Fisica dei laser
<b>N2850</b>	Informatica grafica	<b>L2000</b>	Fisica dello stato solido
<b>N2942</b>	Ingegneria del <i>software</i> II	<b>H2701</b>	Impianti elettrici I
<b>L3130</b>	Macchine elettriche	<b>M2720</b>	Impianti industriali
<b>H3660</b>	Misure elettriche	<b>N3000</b>	Intelligenza artificiale
<b>L3670</b>	Misure elettroniche	<b>M3030</b>	Istituzioni di diritto pubblico e privato
<b>N3800</b>	Modellistica e identificazione	<b>N3040</b>	Istituzioni di economia
<b>E3880</b>	Ottica	<b>N3070</b>	Linguaggi e traduttori
<b>D3910</b>	Pianificazione dei trasporti	<b>L3200</b>	Meccanica analitica
<b>D4180</b>	Progettazione dei sistemi di trasporto	<b>N3460</b>	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo
<b>N4580</b>	Robotica industriale	<b>L3560</b>	Microelettronica
<b>H4600</b>	Scienza delle costruzioni	<b>N3690</b>	Misure per l'automazione e la produzione industriale
<b>L4700</b>	Sensori e trasduttori	<b>L3700</b>	Misure su sistemi di trasmissione e telemisure

segue Tabella 6

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>L4901</b>	Sistemi di radiocomunicazione I	<b>M3740</b>	Modelli per il supporto delle decisioni
<b>N5050</b>	Sistemi per la progettazione automatica	<b>L3870</b>	Optoelettronica
<b>G5200</b>	Storia dell'architettura	<b>N8720</b>	Ottimizzazione
<b>G5210</b>	Storia dell'architettura e dell'urbanistica	<b>F4532</b>	Reti di Telecomunicazioni II
<b>L5240</b>	Strumentazione biomedica	<b>LA290</b>	Reti elettriche non lineari
<b>L5260</b>	Strumentazione e misure elettroniche	<b>E4681</b>	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I
<b>H5450</b>	Tecnica della sicurezza elettrica	<b>N4882</b>	Sistemi di elaborazione II
<b>D5490</b>	Tecnica ed economia dei trasporti	<b>M5175</b>	Statistica aziendale / Marketing industriale (i)
<b>L5691</b>	Tecnologie e materiali per l'elettronica I	<b>A3155</b>	Storia della tecnica
<b>F6040</b>	Trasmissione numerica	<b>F5870</b>	Teoria dell'informazione e codici
		<b>D5880</b>	Teoria e tecnica della circolazione
		<b>L5955</b>	Termodinamica applicata / Acustica applicata ed Illuminotecnica (i)

### Orientamento Elaborazione dell'informazione non numerica

Mira ad approfondire le problematiche relative all'elaborazione dell'informazione non numerica, con particolare riferimento ai metodi per la rappresentazione della conoscenza alla Intelligenza Artificiale, al riconoscimento dei segnali, forme ed immagini, all'elaborazione grafica.

Gli insegnamenti caratterizzanti sono i seguenti:

- **N3070** Linguaggi e traduttori
- **N3000** Intelligenza artificiale
- **N2850** Informatica grafica.

L'organizzazione generale dell'Orientamento è riportata in Tabella 7; l'insegnamento mancante per il raggiungimento delle richieste 29 annualità può essere liberamente scelto tra uno di quelli elencati nella Tabella 8.

Tabella 7 : Orientamento Elaborazione dell'informazione non numerica

Anno	1° Periodo		2° Periodo	
1	<b>N0231</b>	Analisi Matematica I	<b>N2300</b>	Geometria
	<b>N0620</b>	Chimica	<b>N1901</b>	Fisica I
	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)
2	<b>N0232</b>	Analisi Matematica II	<b>N0494</b>	Calcolo delle Probabilità (r)
	<b>N1902</b>	Fisica II	<b>N0234</b>	Analisi Matematica III (r)
	<b>N2172</b>	Fondamenti di	<b>N1790</b>	Elettrotecnica
		Informatica II	<b>N1660</b>	Elem. di Meccanica Teorica ed Appl.
3	<b>N1711</b>	Elettronica Applicata I	<b>N4540</b>	Reti Logiche
	<b>N0460</b>	Calcolatori Elettronici	<b>N0800</b>	Comunicazioni Elettriche
	<b>N0841</b>	Controlli automatici (gen)	<b>N5812</b>	Teoria dei sistemi (discreti)
4	<b>N1712</b>	Elettronica Applicata II	<b>N2941</b>	Ingegneria del <i>software</i> I
	<b>N5030</b>	Sistemi Operativi	<b>N4521</b>	Reti di calcolatori I
	<b>N4550</b>	Ricerca operativa	<b>N3070</b>	Linguaggi e traduttori
5	<b>N4881</b>	Sistemi di Elaborazione I	<b>N0410</b>	Basi di dati
	<b>N2850</b>	Informatica grafica	<b>N3000</b>	Intelligenza artificiale
				<b>N1530</b>

Tabella 8

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>P0350</b>	Automazione a fluido	<b>L0220</b>	Analisi funzionale
<b>N0370</b>	Automazione industriale	<b>N0390</b>	Azionamenti elettrici per l'automaz.
<b>L0510</b>	Calcolo numerico	<b>F0531</b>	Campi elettromagnetici I
<b>N0850</b>	Controllo dei processi	<b>N0870</b>	Controllo digitale
<b>G1360</b>	Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche	<b>B1260</b>	Dinamica del volo spaziale
<b>N7060</b>	Economia dei sistemi industriali	<b>L1441</b>	Dispositivi elettronici I
<b>L1500</b>	Economia e gestione dei servizi	<b>M1560</b>	Economia politica
<b>L1760</b>	Elettronica di potenza	<b>L6120</b>	Elettronica delle microonde
<b>L1770</b>	Elettronica industriale di potenza	<b>N1730</b>	Elettronica dei sistemi digitali
<b>L2150</b>	Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica	<b>D1870</b>	Esercizio dei sistemi di trasporto
<b>M2460</b>	Gestione industriale della qualità	<b>E1920</b>	Fisica degli stati condensati
<b>B2570</b>	Impianti aeronautici	<b>F1940</b>	Fisica dei laser
<b>N2942</b>	Ingegneria del <i>software</i> II	<b>L2000</b>	Fisica dello stato solido
<b>L3130</b>	Macchine elettriche	<b>H2701</b>	Impianti elettrici I
<b>H3660</b>	Misure elettriche	<b>M2720</b>	Impianti industriali
<b>L3670</b>	Misure elettroniche	<b>M3030</b>	Istituzioni di diritto pubblico e privato
<b>N3800</b>	Modellistica e identificazione	<b>N3040</b>	Istituzioni di economia
<b>E3880</b>	Ottica	<b>L3200</b>	Meccanica analitica
<b>D3910</b>	Pianificazione dei trasporti	<b>N3460</b>	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo
<b>D4180</b>	Progettazione dei sistemi di trasporto	<b>L3560</b>	Microelettronica
<b>N4522</b>	Reti di calcolatori II	<b>N3690</b>	Misure per l'automazione e la produzione industriale
<b>N4580</b>	Robotica industriale	<b>L3700</b>	Misure su sistemi di trasmissione e telemisure
<b>H4600</b>	Scienza delle costruzioni	<b>M3740</b>	Modelli per il supporto delle decisioni

segue Tabella 8

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>L4700</b>	Sensori e trasduttori	<b>L3870</b>	Optoelettronica
<b>L4850</b>	Sistemi di commutazione	<b>N8720</b>	Ottimizzazione
<b>L4901</b>	Sistemi di radiocomunicazione I	<b>F4532</b>	Reti di Telecomunicazioni II
<b>N5050</b>	Sistemi per la progettazione automatica	<b>LA290</b>	Reti elettriche non lineari
<b>G5200</b>	Storia dell'architettura	<b>E4681</b>	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I
<b>G5210</b>	Storia dell'architettura e dell'urbanistica	<b>N4882</b>	Sistemi di elaborazione II
<b>L5240</b>	Strumentazione biomedica	<b>M5175</b>	Statistica aziendale / Marketing industriale (i)
<b>L5260</b>	Strumentazione e misure elettroniche	<b>A3155</b>	Storia della tecnica
<b>H5450</b>	Tecnica della sicurezza elettrica	<b>F5870</b>	Teoria dell'informazione e codici
<b>D5490</b>	Tecnica ed economia dei trasporti	<b>D5880</b>	Teoria e tecnica della circolazione
<b>L5691</b>	Tecnologie e materiali per l'elettronica I	<b>L5955</b>	Termodinamica applicata / Acustica applicata ed Illuminotecnica (i)
<b>N5730</b>	Telematica		
<b>F6040</b>	Trasmissione numerica		

### ***Orientamento Ingegneria del software***

Mira ad approfondire le problematiche relative al progetto di sistemi *software* di notevoli dimensioni, con particolare riferimento all'Ingegneria del *Software*, allo sviluppo di compilatori e traduttori, all'interfaccia utente, alle architetture *client-server* ed all'ambiente Windows.

Gli insegnamenti caratterizzanti sono i seguenti:

- **N2942** *Ingegneria del software II*
- **N3070** *Linguaggi e traduttori*
- **N4522** *Reti di calcolatori II.*

L'organizzazione generale dell'Orientamento è riportata in Tabella 9; l'insegnamento mancante per il raggiungimento delle richieste 29 annualità può essere liberamente scelto tra uno di quelli elencati nella Tabella 10.

Tabella 9 : Orientamento *Ingegneria del software*

<i>Anno</i>	<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
1	<b>N0231</b>	Analisi Matematica I	<b>N2300</b>	Geometria
	<b>N0620</b>	Chimica	<b>N1901</b>	Fisica I
	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)
2	<b>N0232</b>	Analisi Matematica II	<b>N0494</b>	Calcolo delle Probabilità (r)
	<b>N1902</b>	Fisica II	<b>N0234</b>	Analisi Matematica III (r)
	<b>N2172</b>	Fondamenti di Informatica II	<b>N1790</b>	Elettrotecnica
			<b>N1660</b>	Elem. di Meccanica Teorica ed Appl.
3	<b>N1711</b>	Elettronica Applicata I	<b>N4540</b>	Reti Logiche
	<b>N0460</b>	Calcolatori Elettronici	<b>N0800</b>	Comunicazioni elettriche
	<b>N0841</b>	Controlli automatici (gen)	<b>N5812</b>	Teoria dei sistemi (discreti)
4	<b>N1712</b>	Elettronica Applicata II	<b>N0410</b>	Basi di dati
	<b>N5030</b>	Sistemi Operativi	<b>N2941</b>	Ingegneria del <i>software</i> I
	<b>N4550</b>	Ricerca operativa	<b>N4521</b>	Reti di calcolatori I
5	<b>N4881</b>	Sistemi di Elaborazione I	<b>N1530</b>	Economia ed organiz. aziendale
	<b>N2942</b>	Ingegneria del <i>software</i> II		Linguaggi e traduttori
	<b>N4522</b>	Reti di calcolatori II	<b>N3070</b>	

Tabella 10

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>P0350</b>	Automazione a fluido	<b>L0220</b>	Analisi funzionale
<b>N0370</b>	Automazione industriale	<b>N0390</b>	Azionamenti elettrici per l'automaz.
<b>L0510</b>	Calcolo numerico	<b>F0531</b>	Campi elettromagnetici I
<b>N0850</b>	Controllo dei processi	<b>N0870</b>	Controllo digitale
<b>G1360</b>	Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche	<b>B1260</b>	Dinamica del volo spaziale
<b>N7060</b>	Economia dei sistemi industriali	<b>L1441</b>	Dispositivi elettronici I
<b>L1500</b>	Economia e gestione dei servizi	<b>M1560</b>	Economia politica
<b>L1760</b>	Elettronica di potenza	<b>L6120</b>	Elettronica delle microonde
<b>L1770</b>	Elettronica industriale di potenza	<b>N1730</b>	Elettronica dei sistemi digitali
<b>L2150</b>	Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica	<b>D1870</b>	Esercizio dei sistemi di trasporto
<b>M2460</b>	Gestione industriale della qualità	<b>E1920</b>	Fisica degli stati condensati
<b>B2570</b>	Impianti aeronautici	<b>F1940</b>	Fisica dei laser
<b>N2850</b>	Informatica grafica	<b>L2000</b>	Fisica dello stato solido
<b>L3130</b>	Macchine elettriche	<b>H2701</b>	Impianti elettrici I
<b>H3660</b>	Misure elettriche	<b>M2720</b>	Impianti industriali
<b>L3670</b>	Misure elettroniche	<b>N3000</b>	Intelligenza artificiale
<b>N3800</b>	Modellistica e identificazione	<b>M3030</b>	Istituzioni di diritto pubblico e privato
<b>E3880</b>	Ottica	<b>N3040</b>	Istituzioni di economia
<b>D3910</b>	Pianificazione dei trasporti	<b>L3200</b>	Meccanica analitica
<b>D4180</b>	Progettazione dei sistemi di trasporto	<b>N3460</b>	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo
<b>N4580</b>	Robotica industriale	<b>L3560</b>	Microelettronica
<b>H4600</b>	Scienza delle costruzioni	<b>N3690</b>	Misure per l'automazione e la produzione industriale
<b>L4700</b>	Sensori e trasduttori	<b>L3700</b>	Misure su sistemi di trasmissione e telemisure

segue Tabella 10

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>L4850</b>	Sistemi di commutazione	<b>M3740</b>	Modelli per il supporto delle decisioni
<b>L4901</b>	Sistemi di radiocomunicazione I	<b>L3870</b>	Optoelettronica
<b>N5050</b>	Sistemi per la progettazione automatica	<b>N8720</b>	Ottimizzazione
<b>G5200</b>	Storia dell'architettura	<b>F4532</b>	Reti di Telecomunicazioni II
<b>G5210</b>	Storia dell'architettura e dell'urbanistica	<b>LA290</b>	Reti elettriche non lineari
<b>L5240</b>	Strumentazione biomedica	<b>E4681</b>	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I
<b>L5260</b>	Strumentazione e misure elettroniche	<b>N4882</b>	Sistemi di elaborazione II
<b>H5450</b>	Tecnica della sicurezza elettrica	<b>M5175</b>	Statistica aziendale / Marketing industriale (i)
<b>D5490</b>	Tecnica ed economia dei trasporti	<b>A3155</b>	Storia della tecnica
<b>L5691</b>	Tecnologie e materiali per l'elettronica I	<b>F5870</b>	Teoria dell'informazione e codici
<b>N5730</b>	Telematica	<b>D5880</b>	Teoria e tecnica della circolazione
<b>F6040</b>	Trasmissione numerica	<b>L5955</b>	Termodinamica applicata / Acustica applicata ed Illuminotecnica (i)

### Orientamento Informatica Gestionale

Mira ad approfondire le problematiche connesse con gli aspetti gestionali della informatizzazione aziendale. Particolare enfasi viene posta sugli aspetti economici, sull'architettura tipica di un sistema informativo aziendale e sulle implicazioni sia economiche sia gestionali dell'innovazione tecnologica.

Gli insegnamenti caratterizzanti sono i seguenti:

- **N3040** Istituzioni di economia
- **M7060** Economia dei sistemi industriali
- **N1500** Economia e gestione dei servizi.

L'organizzazione generale dell'Orientamento è riportata in Tabella 11; l'insegnamento mancante per il raggiungimento delle richieste 29 annualità può essere liberamente scelto tra uno di quelli elencati nella Tabella 12.

Tabella 11 : Orientamento Informatica Gestionale

Anno	1° Periodo		2° Periodo	
1	<b>N0231</b>	Analisi Matematica I	<b>N2300</b>	Geometria
	<b>N0620</b>	Chimica	<b>N1901</b>	Fisica I
	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)
2	<b>N0232</b>	Analisi Matematica II	<b>N0494</b>	Calcolo delle Probabilità (r)
	<b>N1902</b>	Fisica II	<b>N0234</b>	Analisi Matematica III (r)
	<b>N2172</b>	Fondamenti di Informatica II	<b>N1790</b>	Elettrotecnica
3	<b>N1711</b>	Elettronica Applicata I	<b>N4540</b>	Reti Logiche
	<b>N0460</b>	Calcolatori Elettronici	<b>N0800</b>	Comunicazioni elettriche
	<b>N0841</b>	Controlli automatici (gen)	<b>N5812</b>	Teoria dei sistemi (discreti)
4	<b>N1712</b>	Elettronica Applicata II	<b>N3040</b>	Istituzioni di Economia
	<b>N5030</b>	Sistemi Operativi	<b>N1530</b>	Economia ed organiz. aziendale
	<b>N4550</b>	Ricerca operativa	<b>N2941</b>	Ingegneria del <i>software</i> I
5	<b>N4881</b>	Sistemi di Elaborazione I	<b>N4521</b>	Reti di calcolatori I
	<b>N1500</b>	Economia e gestione dei servizi	<b>N0410</b>	Basi di dati
	<b>N7060</b>	Economia dei sistemi industriali		

Tabella 12

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>P0350</b>	Automazione a fluido	<b>L0220</b>	Analisi funzionale
<b>N0370</b>	Automazione industriale	<b>N0390</b>	Azionamenti elettrici per l'automaz.
<b>L0510</b>	Calcolo numerico	<b>F0531</b>	Campi elettromagnetici I
<b>N0850</b>	Controllo dei processi	<b>N0870</b>	Controllo digitale
<b>G1360</b>	Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche	<b>B1260</b>	Dinamica del volo spaziale
<b>L1760</b>	Elettronica di potenza	<b>L1441</b>	Dispositivi elettronici I
<b>L1770</b>	Elettronica industriale di potenza	<b>M1560</b>	Economia politica
<b>L2150</b>	Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica	<b>L6120</b>	Elettronica delle microonde
<b>M2460</b>	Gestione industriale della qualità	<b>N1730</b>	Elettronica dei sistemi digitali
<b>B2570</b>	Impianti aeronautici	<b>D1870</b>	Esercizio dei sistemi di trasporto
<b>N2850</b>	Informatica grafica	<b>E1920</b>	Fisica degli stati condensati
<b>N2942</b>	Ingegneria del <i>software</i> II	<b>F1940</b>	Fisica dei laser
<b>L3130</b>	Macchine elettriche	<b>L2000</b>	Fisica dello stato solido
<b>H3660</b>	Misure elettriche	<b>H2701</b>	Impianti elettrici I
<b>L3670</b>	Misure elettroniche	<b>M2720</b>	Impianti industriali
<b>N3800</b>	Modellistica e identificazione	<b>N3000</b>	Intelligenza artificiale
<b>E3880</b>	Ottica	<b>M3030</b>	Istituzioni di diritto pubblico e privato
<b>D3910</b>	Pianificazione dei trasporti	<b>N3070</b>	Linguaggi e traduttori
<b>D4180</b>	Progettazione dei sistemi di trasporto	<b>L3200</b>	Meccanica analitica
<b>N4522</b>	Reti di calcolatori II	<b>N3460</b>	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo
<b>N4580</b>	Robotica industriale	<b>L3560</b>	Microelettronica
<b>H4600</b>	Scienza delle costruzioni	<b>N3690</b>	Misure per l'automazione e la produzione industriale
<b>L4700</b>	Sensori e trasduttori	<b>L3700</b>	Misure su sistemi di trasmissione e telemisure

segue Tabella 12

<i>1° Periodo</i>		<i>2° Periodo</i>	
<b>L4850</b>	Sistemi di commutazione	<b>M3740</b>	Modelli per il supporto delle decisioni
<b>L4901</b>	Sistemi di radiocomunicazione I	<b>L3870</b>	Optoelettronica
<b>N5050</b>	Sistemi per la progettazione automatica	<b>N8720</b>	Ottimizzazione
<b>G5200</b>	Storia dell'architettura	<b>F4532</b>	Reti di Telecomunicazioni II
<b>G5210</b>	Storia dell'architettura e dell'urbanistica	<b>LA290</b>	Reti elettriche non lineari
<b>L5240</b>	Strumentazione biomedica	<b>E4681</b>	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I
<b>L5260</b>	Strumentazione e misure elettroniche	<b>N4882</b>	Sistemi di elaborazione II
<b>H5450</b>	Tecnica della sicurezza elettrica	<b>M5175</b>	Statistica aziendale / Marketing industriale (i)
<b>D5490</b>	Tecnica ed economia dei trasporti	<b>A3155</b>	Storia della tecnica
<b>L5691</b>	Tecnologie e materiali per l'elettronica I	<b>F5870</b>	Teoria dell'informazione e codici
<b>N5730</b>	Telematica	<b>D5880</b>	Teoria e tecnica della circolazione
<b>F6040</b>	Trasmissione numerica	<b>L5955</b>	Termodinamica applicata / Acustica applicata ed Illuminotecnica (i)

**Indirizzo Automatica e sistemi di automazione industriale**

Lo schema generale degli insegnamenti di questo Indirizzo è riportato in Tabella 13.

Tabella 13

Anno	1° Periodo		2° Periodo	
1	<b>N0231</b>	Analisi Matematica I	<b>N2300</b>	Geometria
	<b>N0620</b>	Chimica	<b>N1901</b>	Fisica I
	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)	<b>N2171</b>	Fondam. di Informatica I (annuale)
2	<b>N0232</b>	Analisi Matematica II	<b>N0494</b>	Calcolo delle Probabilità (r)
	<b>N1902</b>	Fisica II	<b>N0234</b>	Analisi Matematica III (r)
	<b>N2172</b>	Fondamenti di Informatica II	<b>N1790</b>	Elettrotecnica
3	<b>N1711</b>	Elettronica Applicata I	<b>N0800</b>	Comunicazioni Elettriche
	<b>N5811</b>	Teoria dei Sistemi (continui)	<b>N4540</b>	Reti Logiche
	<b>N0460</b>	Calcolatori Elettronici	<b>N0842</b>	Controlli Automatici (spec)
4	<b>N1712</b>	Elettronica Applicata II	<b>N3460</b>	Metodi di Ottimizzazione nei Sistemi di Controllo
	<b>N4550</b>	Ricerca Operativa	<b>N5812</b>	Teoria dei Sistemi (discreti)
	<b>Y (1)</b>		<b>Y (2)</b>	
5	<b>Y (3)</b>		<b>N1530</b>	Economia ed organizzazione aziendale
	<b>Y (5)</b>		<b>Y (4)</b>	
	<b>Y (7)</b>		<b>Y (6)</b>	

(I successivi paragrafi relativi agli Orientamenti chiariranno il diverso valore da attribuire, caso per caso, alle posizioni contrassegnate con Y(n)).

L'indirizzo è articolato nei seguenti orientamenti:

- Automazione della produzione
- Controllo dei processi
- Informatica per l'automazione.

### **Orientamento Automazione della produzione**

Mira a fornire le metodologie e le tecniche necessarie per la progettazione e la gestione di sistemi di automazione complessi. Particolare enfasi viene data alla modellistica, al controllo ed alla gestione di sistemi di produzione o di servizio ed alle componenti più complesse di tali sistemi.

- Y (1) **N3800** Modellistica e identificazione
- Y (2) **N0390** Azionamenti elettrici per l'automazione
- Y (3) **N0370** Automazione industriale
- Y (4) *Scelto nella Tabella 15 tra quelli non ancora inseriti*
- Y (5) **N4580** Robotica industriale
- Y (6) *Scelto nella Tabella 15 tra quelli non ancora inseriti*
- Y (7) *Scelto nella Tabella 14 tra quelli non ancora inseriti*

### **Orientamento Controllo dei processi**

Mira a fornire le metodologie e le tecniche necessarie per la progettazione e la gestione di sistemi di controllo inseriti in processi di produzione. Particolare enfasi viene data alle metodologie di controllo digitale e alla caratterizzazione di sistemi di attuazione per il controllo.

- Y (1) **N3800** Modellistica e identificazione
- Y (2) **N3690** Misure per l'automazione e la produzione industriale
- Y (3) **N0850** Controllo dei processi
- Y (4) **N0870** Controllo digitale
- Y (5) *Scelto nella Tabella 14 tra quelli non ancora inseriti*
- Y (6) *Scelto nella Tabella 15 tra quelli non ancora inseriti*
- Y (7) *Scelto nella Tabella 14 tra quelli non ancora inseriti*

### **Orientamento Informatica per l'automazione**

Mira a fornire una preparazione volta all'integrazione delle competenze automatiche ed informatiche.

- Y (1) **N5030** Sistemi operativi
- Y (2) **N4521** Reti di calcolatori I
- Y (3) **N3800** Modellistica e identificazione
- Y (4) *Scelto nella Tabella 14 tra quelli non ancora inseriti*
- Y (5) **N0370** Automazione industriale
- Y (6) *Scelto nella Tabella 15 tra quelli non ancora inseriti*
- Y (7) *Scelto nella Tabella 14 tra quelli non ancora inseriti*

Tabella 14

<b>P0350</b>	Automazione a fluido
<b>N0370</b>	Automazione industriale
<b>N0850</b>	Controllo dei processi
<b>G1360</b>	Disciplina giuridica delle attività tecnico ingegneristiche
<b>N7060</b>	Economia dei sistemi industriali
<b>L1500</b>	Economia e gestione dei servizi
<b>L1760</b>	Elettronica di potenza
<b>L1770</b>	Elettronica industriale di potenza
<b>L2150</b>	Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica
<b>M2460</b>	Gestione industriale della qualità
<b>H2702</b>	Impianti elettrici II
<b>N2850</b>	Informatica grafica
<b>N2942</b>	Ingegneria del <i>software</i> II
<b>L3130</b>	Macchine elettriche
<b>H3660</b>	Misure elettriche
<b>E3880</b>	Ottica
<b>D3910</b>	Pianificazione dei trasporti
<b>D4180</b>	Progettazione dei sistemi di trasporto
<b>N4522</b>	Reti di calcolatori II
<b>N4580</b>	Robotica industriale
<b>E4590</b>	Scienza dei materiali
<b>H4600</b>	Scienza delle costruzioni
<b>L4700</b>	Sensori e trasduttori
<b>L4850</b>	Sistemi di commutazione
<b>N5030</b>	Sistemi operativi
<b>N5050</b>	Sistemi per la progettazione automatica
<b>G5200</b>	Storia dell'architettura
<b>G5210</b>	Storia dell'architettura e dell'urbanistica
<b>L5260</b>	Strumentazione e misure elettroniche
<b>H5450</b>	Tecnica della sicurezza elettrica
<b>D5490</b>	Tecnica ed economia dei trasporti
<b>L5691</b>	Tecnologia e materiali per l'elettronica I
<b>F6040</b>	Trasmissione numerica.

Tabella 15

<b>L0220</b>	Analisi funzionale
<b>N0390</b>	Azionamenti elettrici per l'automazione
<b>N0410</b>	Basi di dati
<b>N0870</b>	Controllo digitale
<b>B1260</b>	Dinamica del volo spaziale
<b>L1441</b>	Dispositivi elettronici I
<b>M1560</b>	Economia politica
<b>N1730</b>	Elettronica dei sistemi digitali
<b>L6120</b>	Elettronica delle microonde
<b>D1870</b>	Esercizio dei sistemi di trasporto
<b>E1920</b>	Fisica degli stati condensati
<b>F1940</b>	Fisica dei laser
<b>L2000</b>	Fisica dello stato solido
<b>H2701</b>	Impianti elettrici I
<b>M2720</b>	Impianti industriali
<b>N2941</b>	Ingegneria del <i>software</i> I
<b>N3000</b>	Intelligenza artificiale
<b>M3030</b>	Istituzioni di diritto pubblico e privato
<b>N3040</b>	Istituzioni di economia
<b>N3070</b>	Linguaggi e traduttori
<b>L3200</b>	Meccanica analitica
<b>L3560</b>	Microelettronica
<b>L3620</b>	Misure a iperfrequenze
<b>N3690</b>	Misure per l'automazione e la produzione industriale
<b>L3700</b>	Misure su sistemi di trasmissione e telemisure
<b>L3870</b>	Optoelettronica
<b>N8720</b>	Ottimizzazione
<b>N4521</b>	Reti di calcolatori I
<b>LA290</b>	Reti elettriche non lineari
<b>E4681</b>	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I
<b>N4882</b>	Sistemi di elaborazione II
<b>M5175</b>	Statistica aziendale / Marketing industriale (i)
<b>D5880</b>	Teoria e tecnica della circolazione.

# Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni

## Profilo professionale

Il corso di laurea in *Ingegneria delle telecomunicazioni* si propone quale obiettivo la formazione professionale di personale che opererà nel settore della produzione e gestione di beni e di servizi riguardanti il trasferimento a distanza di informazioni, generalmente sotto forma di segnali elettrici. Di conseguenza il corso si rivolge specificamente a coloro che opereranno professionalmente:

- nella progettazione e realizzazione, nonché nell'esercizio di apparati e di sistemi per le telecomunicazioni, sia di tipo tradizionale sia di tipo telematico, volti cioè alla realizzazione di colloquio uomo-macchina o macchina-macchina;
- nella progettazione e realizzazione di apparati e sistemi per l'elaborazione numerica dei segnali (codifiche, filtraggi, compressioni, espansioni, oppure estrazione di informazione contenute nei segnali stessi);
- nella progettazione e realizzazione di apparati e di sistemi per il rilevamento e il riconoscimento per via elettromagnetica, finalizzati alla localizzazione di oggetti (fissi o in movimento), all'acquisizione di dati meteorologici, al controllo del traffico terrestre, aereo e navale, ecc.

Le caratteristiche tecnico-professionali dell'area descritta si sono venute delineando in modo sempre più preciso negli ultimi vent'anni, distinguendosi da altre figure professionali nel medesimo vasto settore dell'ingegneria dell'informazione. A tale identificazione di profilo professionale corrisponde, nel mondo produttivo nazionale, un vasto insieme di attività industriali e di esercizio riguardanti le telecomunicazioni e il telerilevamento, nonché le tecniche di trattamento dell'informazione.

Il profilo professionale dell'ingegnere delle comunicazioni si forma con il concorso di conoscenze riguardanti in egual misura le tecnologie dei componenti elettronici e ottici, l'*hardware* degli apparati, gli aspetti *software*, le metodologie di studio, progettazione e gestione di sistemi complessi.

La specifica caratterizzazione della laurea in *Ingegneria delle telecomunicazioni* proposta dalla Facoltà di ingegneria del Politecnico di Torino insiste tuttavia in modo particolare da un lato sugli aspetti metodologici e sistemici dei problemi di trasmissione, di rete e di trattamento numerico dei segnali, e dall'altro sullo studio approfondito dei canali di comunicazione, siano essi basati sulla propagazione elettromagnetica libera o guidata, a frequenze radio od ottiche. Ciò traspare dall'elenco dei corsi obbligatori e dai relativi contenuti, illustrati nei paragrafi successivi. La possibilità di approfondire aspetti più specificatamente tecnologici viene offerta agli studenti tramite l'ampia rosa di materie da inserire a completamento del *curriculum* degli studi.

## Insegnamenti obbligatori

La scelta proposta per gli insegnamenti obbligatori, globalmente considerati (stabiliti in sede nazionale per tutti i corsi di laurea, per il settore dell'informazione, per la laurea in Ingegneria delle telecomunicazioni, oppure fissati in sede locale dalla Facoltà) 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*), si pone l'accento su materie che si ritengono indispensabili per la formazione di un ingegnere delle telecomunicazioni, in particolare *Calcolo numerico e Calcolo delle probabilità*. Pertanto, il unità didattiche dedicato alla preparazione di base di tipo matematico è portato a 5 (a fronte del minimo di 4 fissato dal Decreto di Riordino). La preparazione di base è completata da un corso di *Chimica*, secondo i requisiti richiesti dal Decreto di Riordino.

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

- un corso di *Elementi di meccanica Teorica ed Applicata* destinato a fornire una preparazione di base nel settore della meccanica;
- *Controlli automatici*, destinato a fornire una preparazione prevalentemente a livello informativo nel settore dell'automazione e dei controlli;
- *Istituzioni di economia*, nel quale vengono presentati i principi di economia e di gestione aziendale, con una attenzione particolare alla specifica realtà dei servizi, particolarmente importante nell'ambito delle telecomunicazioni.

La preparazione professionale nel campo informatico è fornita da tre corsi, due dei quali sono a carattere formativo generale nel campo dell'informatica (*Fondamenti di informatica e Sistemi informativi I*), mentre il terzo (*Sistemi informativi II*) dovrà fornire le nozioni metodologiche e la preparazione necessarie per una moderna professionalità nel campo della progettazione, sviluppo e gestione di *software* complesso, quale si riscontra nelle applicazioni delle telecomunicazioni alle tecniche moderne.

Per quanto riguarda la preparazione specifica nel campo delle telecomunicazioni, sono previsti anzitutto due corsi di base, quello di *Teoria dei segnali*, destinato a fornire solide basi metodologiche per l'analisi e la rappresentazione dei segnali sia deterministici sia aleatori, seguito da quello di *Comunicazioni elettriche*, nel quale vengono impartite le nozioni fondamentali sulle tecniche di modulazione e trasmissione (sia analogiche sia numeriche), sulla teoria dell'informazione e sui codici nonché sulle problematiche fondamentali delle reti di telecomunicazioni.

Seguono tre corsi destinati alla preparazione professionale specifica nei tre settori fondamentali delle telecomunicazioni, la trasmissione (corso di *Trasmissione numerica*), le reti (corso di *Reti di telecomunicazione*) e il trattamento numerico dei segnali (corso di *Elaborazione numerica dei segnali*). È previsto l'obbligo di almeno due fra tali corsi, a scelta dello studente.

Per quanto riguarda la preparazione nel settore dell'elettromagnetismo, è previsto un corso di base di *Campi elettromagnetici I*, ed un secondo insegnamento (*Campi elettromagnetici II*) dedicato principalmente ai problemi di antenne e propagazione, con cenni alle questioni concernenti il telerilevamento per via elettromagnetica e i componenti a microonde e optoelettronici.

Infine, per quanto riguarda gli aspetti più specificamente *hardware*, si prevede un corso di base di *Teoria dei circuiti*, seguito da *Elettronica applicata*, e quindi da *Microelettronica*, nel quale le possibilità offerte dalle moderne tecniche microelettroniche verranno presentate accanto alle limitazioni sistemistiche e progettuali da esse imposte. Completa il quadro un corso di misure (*Misure su sistemi di trasmissione e telemisure*) specificamente orientato agli apparati e ai sistemi di telecomunicazioni.

Il quadro didattico di insegnamenti obbligatori sopra delineato vincola rigidamente 21,5 annualità in aggiunta: 2 annualità sono a scelta fra tre corsi e mezza annualità a scelta fra due corsi. Le rimanenti 5 annualità necessarie per il completamento del *curriculum* (basato su 29 annualità) sono da utilizzare per la definizione di appropriati orientamenti e per le scelte libere dello studente.

Il quadro complessivo degli insegnamenti obbligatori è sintetizzato nella tabella seguente. Esso è valido per tutti gli studenti che nel 1994/95 frequentano i primi quattro anni e, limitatamente alle materie al 5° anno, per quelli che nel 1994/95 si iscrivono regolari al 5° anno (non essendo mai stati fuori corso negli anni precedenti).

*Tutti gli studenti che non rientrano nelle categorie precedenti devono presentare un piano di studi individuale.*

## Quadro didattico degli insegnamenti obbligatori

### Corso di laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni

Anno	1° periodo	2° periodo
1	<b>F0231</b> Analisi Matematica I <b>F0620</b> Chimica <b>F2170</b> Fondamenti di Informatica (annuale)	<b>F2300</b> Geometria <b>F1901</b> Fisica I <b>F2170</b> Fondamenti di Informatica (annuale)
2	<b>F0232</b> Analisi Matematica II <b>F1902</b> Fisica II <b>F5011</b> Sistemi Informativi I	<b>F0514</b> Calcolo Numerico (r) <b>F0234</b> Analisi Matematica III (r) <b>F0490</b> Calcolo delle Probabilità <b>F5760</b> Teoria dei Circuiti
3	<b>F5801</b> Teoria dei Segnali I <b>F0531</b> Campi Elettromagnetici I <b>F1711</b> Elettronica Applicata I	<b>F0800</b> Comunicazioni Elettriche <b>F0532</b> Campi Elettromagnetici II <b>F5012</b> Sistemi Informativi II
4	<b>F1712</b> Elettronica applicata II <b>Z (1)</b> <b>Z (2)</b>	<b>F0840</b> Controlli Automatici <b>W(1)</b> <b>Y(1)</b>
5	<b>Y (2)</b> <b>Y (3)</b> <b>Y (4)</b>	<b>F3700</b> Misure su Sistemi di Trasmissione e Tele misure <b>W(2)</b> <b>Y (5)</b>

(r) Corso ridotto.

Y (1), Y (2), Y (3), Y (4), Y (5) corsi di orientamento.

## Insegnamenti di orientamento

Gli orientamenti sono destinati a fornire, nell'ambito dell'ingegneria delle telecomunicazioni, specifiche competenze, sia di tipo metodologico sia a carattere tecnico, progettuale, realizzativo o di esercizio, in settori particolari o in settori complementari, utili ad una preparazione professionale di alto livello.

Gli orientamenti sono individuati da due gruppi di materie.

• Due annualità obbligatorie indicate nei quadri didattici come Z (1) e Z (2) da scegliere tra le materie

- **F6040** Trasmissione numerica
- **F4531** Reti di telecomunicazioni I
- **F1590** Elaborazione numerica dei segnali

Per ogni singolo orientamento è indicato come operare la scelta tra le due materie.

• Tre o quattro o cinque annualità aggiuntive, che, facendo riferimento allo schema di curriculum precedentemente illustrato, rappresentano scelte particolari delle annualità ivi indicate con Y (1), Y (2), Y (3), Y (4), Y (5).

Le ulteriori annualità richieste per il completamento delle 29 annualità necessarie per il conseguimento della laurea sono a scelta dello studente nell'ambito dei corsi degli altri orientamenti e dei corsi appartenenti alla Tabella A.

### Orientamento Trasmissione

Z (1)	1	<b>F6040</b>	Trasmissione numerica
Z (2)	1	<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I <i>oppure</i>
	1	<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali
W(1)	2	<b>F1660</b>	Elementi di meccanica teorica e applicata <i>oppure</i>
	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2	<b>F5870</b>	Teoria dell'informazione e codici
Y (2)	1	<b>F0770</b>	Componenti e circuiti ottici
Y (3)	1	<b>F4920</b>	Sistemi di telecomunicazione
Y (4)	1		Insegnamento a scelta dalla tabella A1
Y (5)	2	<b>F0810</b>	Comunicazioni ottiche

### Orientamento Radiocomunicazioni

Z (1)	1	<b>F6040</b>	Trasmissione numerica
Z (2)	1	<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I <i>oppure</i>
	1	<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali
W(1)	2	<b>F1660</b>	Elementi di meccanica teorica e applicata <i>oppure</i>
	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2	<b>F4360</b>	Propagazione
Y (2)	1	<b>F0270</b>	Antenne
Y (3)	1	<b>F4901</b>	Sistemi di radiocomunicazione I
Y (4)	1		Insegnamento a scelta dalla tabella A1
Y (5)	2	<b>F0760</b>	Compatibilità elettromagnetica

## Orientamento Comunicazioni via satellite e a microonde

Z (1)	1	<b>F6040</b>	Trasmissione numerica
Z (2)	1	<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I <i>oppure</i>
	1	<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali
W(1)	2	<b>F1660</b>	Elementi di meccanica teorica e applicata <i>oppure</i>
	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2		Insegnamento a scelta dalla tabella A2
Y (2)	1	<b>F0270</b>	Antenne
Y (3)	1	<b>F3570</b>	Microonde
Y (4)	1	<b>F4920</b>	Sistemi di telecomunicazione
Y (5)	2	<b>F4360</b>	Propagazione

## Orientamento Comunicazioni ottiche

Z (1)	1	<b>F6040</b>	Trasmissione numerica
Z (2)	1	<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I
W(1)	2	<b>F1660</b>	Elementi di meccanica teorica e applicata <i>oppure</i>
	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2	<b>F0810</b>	Comunicazioni ottiche
Y (2)	1	<b>F0770</b>	Componenti e circuiti ottici
Y (3)	1	<b>F3050</b>	Istituzioni di meccanica quantistica
Y (4)	1	<b>F4850</b>	Sistemi di commutazione
Y (5)	2	<b>F1940</b>	Fisica dei laser

## Orientamento Telematica

Z (1)	1	<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali
Z (2)	1	<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I
W(1)	2	<b>F1660</b>	Elementi di meccanica teorica e applicata <i>oppure</i>
	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2	<b>F4532</b>	Reti di telecomunicazioni II
Y (2)	1	<b>F4850</b>	Sistemi di commutazione
Y (3)	1	<b>F4522</b>	Reti di calcolatori II
Y (4)	1	<b>N5730</b>	Telematica
Y (5)	2	<b>F0410</b>	Basi di dati

## Orientamento Apparat per telecomunicazioni

Z (1)	1	<b>F6040</b>	Trasmissione numerica
Z (2)	1	<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali
W(1)	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2	<b>F1740</b>	Elettronica delle telecomunicazioni
Y (2)	1	<b>F3570</b>	Microonde
Y (3)	1		Insegnamento a scelta dalla tabella A1
Y (4)	1		Insegnamento a scelta dalla tabella A1 o B1
Y (5)	2	<b>FA290</b>	Reti elettriche non lineari

## Orientamento Telerilevamento

Z (1)	1	<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali
Z (2)	1	<b>F6040</b>	Trasmissione numerica <i>oppure</i>
		<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I
W(1)	2	<b>F1660</b>	Elementi di meccanica teorica e applicata <i>oppure</i>
	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2	<b>F5802</b>	Teoria dei segnali II
Y (2)	1	<b>F5750</b>	Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica
Y (3)	1	<b>F3570</b>	Microonde
Y (4)	1	<b>F4920</b>	Sistemi di telecomunicazione
Y (5)	2		Insegnamento a scelta dalla tabella A2

Orientamento *Software* per telecomunicazioni

Z (1)	1	<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I
Z (2)	1	<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali
W(1)	2	<b>F1660</b>	Elementi di meccanica teorica e applicata <i>oppure</i>
	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2	<b>F2941</b>	Ingegneria del <i>software</i> I
Y (2)	1	<b>F4850</b>	Sistemi di commutazione
Y (3)	1	<b>F2942</b>	Ingegneria del <i>software</i> II
Y (4)	1		Insegnamento a scelta dalla tabella A1
Y (5)	2	<b>F3070</b>	Linguaggi e traduttori

## Orientamento Gestionale

Z (1)	1	<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I <i>oppure</i>
		<b>F6040</b>	Trasmissione numerica <i>oppure</i>
		<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali
Z (2)	1	<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I <i>oppure</i>
		<b>F6040</b>	Trasmissione numerica <i>oppure</i>
		<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali
W(1)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
W(1)	2	<b>F1660</b>	Elementi di meccanica teorica e applicata <i>oppure</i>
	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
Y (1)	2		Insegnamento a scelta dalla tabella A2
Y (2)	1	<b>F1530</b>	Economia e organizzazione aziendale
Y (3)	1	<b>F4550</b>	Ricerca operativa
Y (4)	1	<b>F1500</b>	Economia e gestione dei servizi
Y (5)	2		Insegnamento a scelta dalla tabella B2

## Orientamento Elaborazione dei segnali

Z (1)	1	<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali
Z (2)	1	<b>F6040</b>	Trasmissione numerica
W(1)	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2	<b>F5802</b>	Teoria dei segnali II
Y (2)	1	<b>F5750</b>	Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica
Y (3)	1		Insegnamento a scelta dalla tabella A1
Y (4)	1		Insegnamento a scelta dalla tabella A1 o B1
Y (5)	2	<b>F5870</b>	Teoria dell'informazione e codici

## Orientamento Reti di telecomunicazioni

Z (1)	1	<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I
Z (2)	1	<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali <i>oppure</i>
	1	<b>F6040</b>	Trasmissione numerica
W(1)	2	<b>F1660</b>	Elementi di meccanica teorica e applicata <i>oppure</i>
	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2	<b>F4532</b>	Reti di telecomunicazioni II
Y (2)	1	<b>F4850</b>	Sistemi di commutazione
Y (3)	1	<b>N5730</b>	Telematica
Y (4)	1		Insegnamento a scelta dalla tabella A2
Y (5)	2		Insegnamento a scelta dalla tabella A2 o B2

## Orientamento Comunicazioni con mezzi mobili

Z (1)	1	<b>F6040</b>	Trasmissione numerica
Z (2)	1	<b>F1590</b>	Elaborazione numerica dei segnali <i>oppure</i>
W(1)	2	<b>F1660</b>	Elementi di meccanica teorica e applicata <i>oppure</i>
	2	<b>F5955</b>	Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)
W(2)	2	<b>F3040</b>	Istituzioni di economia
Y (1)	2	<b>F4360</b>	Propagazione
Y (2)	1	<b>F4531</b>	Reti di telecomunicazioni I
Y (3)	1	<b>F4920</b>	Sistemi di telecomunicazione
Y (4)	1		Insegnamento a scelta dalla tabella A1
Y (5)	2	<b>F4902</b>	Sistemi di radiocomunicazione II

## Nota

Rispetto allo scorso anno sono variate alcune materie all'interno degli orientamenti.

Gli studenti iscritti al 4° anno nell'a.a. 1995/96 che non varieranno il loro piano di studi, dovranno seguire per gli anni a venire quanto deciso nel 1995/96. (Esempio: se la materia prevista per il 5° anno è variata, lo studente dovrà comunque seguire quella a suo tempo scelta).

Coloro che invece volessero variare il loro piano di studi, sono tenuti a presentare un piano di studi individuale.

## Tabella A1

1	<b>L0300</b>	Architettura dei sistemi integrati
1	<b>N0370</b>	Automazione industriale
1	<b>L1760</b>	Elettronica di potenza
1	<b>H1770</b>	Elettronica industriale di potenza
1	<b>L2030</b>	Fisica matematica
1	<b>L2150</b>	Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica
1	<b>N2630</b>	Impianti di elaborazione
1	<b>F2942</b>	Ingegneria del <i>software</i> II
1	<b>L3800</b>	Modellistica e identificazione
1	<b>F4522</b>	Reti di calcolatori II
1	<b>L4540</b>	Reti logiche
1	<b>L4550</b>	Ricerca operativa
1	<b>N4580</b>	Robotica industriale
1	<b>N5030</b>	Sistemi operativi
1	<b>N5050</b>	Sistemi per la progettazione automatica
1	<b>L5240</b>	Strumentazione biomedica
1	<b>L5690</b>	Tecnologie e materiali per l'elettronica

## Tabella A2

2	<b>L0034</b>	Acustica applicata e illuminotecnica (r) (1)
2	<b>L0870</b>	Controllo digitale
2	<b>L1441</b>	Dispositivi elettronici I
2	<b>L1730</b>	Elettronica dei sistemi digitali
2	<b>L2000</b>	Fisica dello stato solido
2	<b>F2941</b>	Ingegneria del <i>software</i> I
2	<b>L3200</b>	Meccanica analitica
2	<b>L3620</b>	Misure a iperfrequenze
2	<b>N3690</b>	Misure per l'automazione e la produzione industriale
2	<b>L3870</b>	Optoelettronica
2	<b>N8720</b>	Ottimizzazione
2	<b>L5260</b>	Strumentazione e misure elettroniche
2	<b>L5954</b>	Termodinamica applicata (r) (1)

(1) F5955 Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i) è incompatibile con i due corsi ridotti: L5954 Termodinamica applicata (r) - L0034 Acustica applicata e illuminotecnica (r)

## Tabella B1

1	<b>B0050</b>	Aerodinamica
1	<b>P0350</b>	Automazione a fluido
1	<b>R1460</b>	Economia applicata all'ingegneria
1	<b>R1640</b>	Elementi di ecologia
1	<b>R2190</b>	Fotogrammeria
0	<b>A8140</b>	Geografia urbana e regionale (annuale)
0	<b>A2150</b>	Gestione urbanistica del territorio (annuale)
1	<b>B2570</b>	Impianti aeronautici
1	<b>Q3390</b>	Meccanica statistica
1	<b>H3770</b>	Modelli per l'organizzazione e la gestione dei sistemi
1	<b>R3790</b>	Modellistica e controllo dei sistemi ambientali
1	<b>M4090</b>	Produzione assistita da calcolatore
1	<b>H4600</b>	Scienza delle costruzioni
1	<b>W9721</b>	Sociologia urbana (r)
1	<b>G5200</b>	Storia dell'architettura
1	<b>W2091</b>	Storia dell'architettura contemporanea
1	<b>G5210</b>	Storia dell'architettura e dell'urbanistica
0	<b>A3155</b>	Storia della tecnologia (annuale)
1	<b>P5410</b>	Tecnica del controllo ambientale
1	<b>H5450</b>	Tecnica della sicurezza elettrica
0	<b>A5130</b>	Ubicazione e distribuzione della produzione dell'energia (annuale)

## Tabella B2

2	<b>P0030</b>	Acustica applicata
2	<b>B1260</b>	Dinamica del volo spaziale
2	<b>M1560</b>	Economia politica
2	<b>R2010</b>	Fisica dell'atmosfera
2	<b>R2090</b>	Fluidodinamica ambientale
2	<b>R2240</b>	Geofisica applicata
2	<b>R2245</b>	Geofisica applicata/Rilevamento geologico-tecnico (i)
2	<b>G2560</b>	Illuminotecnica
2	<b>H2701</b>	Impianti elettrici I
2	<b>M2720</b>	Impianti industriali
2	<b>M3030</b>	Istituzioni di diritto pubblico e privato
2	<b>H3660</b>	Misure elettriche
2	<b>H3740</b>	Modelli per il supporto alle decisioni
2	<b>W2711</b>	Storia dell'architettura moderna
2	<b>W2141</b>	Storia dell'urbanistica
2	<b>H5500</b>	Tecnica ed economia dell'energia elettrica
2	<b>D6020</b>	Topografia
2	<b>G6090</b>	Urbanistica

I corsi P0030 Acustica applicata e G2560 Illuminotecnica sono incompatibili con F5955 Termodinamica applicata/Acustica applicata e illuminotecnica (i)

# Programmi degli insegnamenti

## L0034-L5955 Acustica Applicata e Illuminotecnica (r)

Anno : Periodo 2,3,4: 2 Lezione Esercitazione (in aula o in laboratorio): 4+4  
 Docente: M. Masoero (Collab.: Carlo Cima, Chiara Silvi)

Il corso si propone di fornire innanzitutto le nozioni teoriche fondamentali dell'acustica applicata e dell'illuminotecnica, sviluppando quindi una serie di applicazioni di interesse per il settore dell'informazione. Pur nella loro individualità, tali discipline vengono affrontate con un taglio metodologico comune: si parte da un richiamo sulla fisica del fenomeno acustico e luminoso, per passare poi alla percezione soggettiva del fenomeno da parte dell'uomo.

### REQUISITI

*Fisica II*

### PROGRAMMA

- Acustica fisica: grandezze acustiche e campi sonori; suoni puri e complessi; spettri sonori; sorgenti sonore.
- Elementi di acustica psico-fisiologica; valutazione dell'intensità soggettiva di suoni puri e complessi; mascheramento e comprensione del parlato.
- Propagazione sonora in campo libero e riverberato; proprietà acustiche dei materiali; acustica degli ambienti chiusi.
- Problemi di rumore ambientale: effetti del rumore, normativa e tecniche di mitigazione
- Metodologie di analisi sperimentale e teorico-numerica in campo acustico ed applicazioni a problemi di interesse nel settore dell'informazione.
- Fotometria; definizione delle grandezze fotometriche; correlazione tra energia e flusso luminoso.
- Colorimetria; criteri di definizione di un sistema colorimetrico; sistema CIE.
- Sorgenti di luce artificiale ed apparecchi di illuminazione; problemi progettuali in campo illuminotecnico.
- Metodologie di analisi sperimentale e teorico-numerica in campo illuminotecnico ed applicazioni a problemi di interesse nel settore dell'informazione.

## ESERCITAZIONI

Nelle esercitazioni in aula vengono proposti esercizi numerici ed approfondimenti relativi agli argomenti trattati nel corso. Le esercitazioni di laboratorio riguardano prevalentemente le caratteristiche e l'uso della strumentazione per rilievi fonometrici ed illuminotecnici.

## BIBLIOGRAFIA

A. Sacchi, C. Cagliaris, "*Manuale di Fisica Tecnica - Volume uno: Acustica ed Illuminotecnica*", Ed. UTET

**L 022 0****Analisi funzionale**

Anno: Periodo 5:1 Lezioni: 6 (ore settimanali)

Docente: Luciano Pandolfi

Il corso vuol dare le informazioni fondamentali sugli argomenti di analisi funzionale che si incontrano più frequentemente nelle applicazioni:

- Spazi lineari normati (spazi di Banach)
- Spazi lineari normati dotati di prodotto interno (spazi di Hilbert)
- Operatori lineari sia continui che non continui
- Proprietà dello spettro di un operatore
- Teorema delle proiezioni e spazio duale di uno spazio di Hilbert
- Operatori aggiunti
- Operatori compatti

Si presenteranno gli esempi di spazi funzionali più utili nelle applicazioni.

**REQUISITI**

*Analisi Matematica I, Analisi Matematica II, Analisi Matematica III e Geometria.*

**PROGRAMMA**

Il corso consta di 6 ore la settimana. Di queste 2 saranno, di regola, destinate all'illustrazione di esempi. Nei limiti del possibile, si cercherà di adattare il peso dei singoli argomenti e/o l'inserimento di altri alle esigenze espresse dagli studenti. Quindi il seguente è un programma di massima.

- Introduzione al corso, integrale di Lebesgue ed esempi preliminari [8 ore]
- Spazi di Banach [10 ore]
- Operatori lineari [8 ore]
- Applicazioni dei teoremi fondamentali degli spazi di Banach [6 ore]
- Risolvente e spettro [8 ore]
- Spazi di Hilbert e teorema delle proiezioni, funzionali lineari continui [10 ore]
- Operatori aggiunti [4 ore]
- Operatori simmetrici ed autoaggiunti [4 ore]
- Operatori compatti [6 ore]
- Struttura degli operatori compatti [10 ore]
- Applicazioni ad equazioni a derivate parziali ed integrali [6 ore]

**BIBLIOGRAFIA**

Verranno fornite dispense sugli argomenti del programma all'inizio del corso

**Testi ausiliari**

M. Reed, B. Simon, "*Functional Analysis*", Vol. 1, Academic Press

H. Brezis, "*Analisi Funzionale*", Liguori

**ESAME**

L'esame consiste in un colloquio sugli argomenti del corso.

## F0231-L0231 - N0231    **Analisi matematica I**

Anno: Periodo I:1    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docenti:    (I corso) Andrea Bacciotti

              (II corso) Paolo Boieri

              (III corso) Renato Ascoli

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 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 [4 ore]

## ESERCITAZIONI

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

## BIBLIOGRAFIA

A. Bacciotti e F. Ricci, "*Analisi Matematica I*", Liguori (I e II corso)

C.D.Pagani e S.Salsa, "*Analisi Matematica*", Volume 1, Masson (III corso)

### **Testi ausiliari**

P. Boieri e G. Chiti, "*Precorso di Matematica*", Zanichelli Editore

A. Tabacco e D. Giublesi, "*Temi svolti di Analisi Matematica I*", Levrotto&Bella, Torino

## 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 Dip.. Maggiori dettagli sulle modalità di svolgimento delle prove saranno forniti all'inizio del corso.

## F0232-L0232-N023    **Analisi matematica II**

Anno: Periodo 2:1    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+4 (ore settimanali)

Docenti: (I corso) Anita Tabacco

(II corso) Fulvio Ricci

(III corso) Maria Teresa Galizia

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 I, Geometria*

### PROGRAMMA

- Serie numeriche, convergenza assoluta [durata: 6 ore di lezione, 3 di esercitazione].
- Topologia dello spazio euclideo n-dimensionale, successioni, funzioni di più variabili, continuità; spazi vettoriali normati e successioni di funzioni; convergenza uniforme [durata: 10 ore di lezione, 2 di esercitazione].
- Serie di Taylor e serie potenze [durata: 8 ore di lezione, 3 di esercitazione].
- Serie di Fourier: convergenza quadratica, puntuale e uniforme [durata: 6 ore di lezione, 3 di esercitazione].
- Equazioni, sistemi differenziali e problemi di Cauchy [durata: 4 ore di lezione, 1 di esercitazione]; equazioni e sistemi lineari a coefficienti costanti [durata: 6 ore di lezione, 4 di esercitazione].
- Calcolo differenziale per funzioni di più variabili, formula di Taylor, massimi e minimi liberi [durata: 14 ore di lezione, 6 di esercitazione].
- Calcolo differenziale su curve e superfici, funzioni implicite, massimi e minimi vincolati [durata: 8 ore di lezione, 6 di esercitazione].
- Calcolo integrale in più variabili: misura degli insiemi, integrali multipli [durata: 8 ore di lezione, 8 di esercitazione]
- Integrali su curve e superfici, integrali di linea e di flusso, campi vettoriali, Teoremi di Green, Gauss, Stokes [durata: 10 ore di lezione, 4 di esercitazione].

### 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

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, To, 1977

P. Marcellini, C. Sbordone, *Esercitazioni di Matematica*, volume secondo,

(parte prima e seconda), Liguori

#### ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed una prova orale. Il superamento della prova scritta e' 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.

## F0234 - L0234 - N0234 **Analisi matematica III (r)**

Anno: Periodo 2:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 7+2 (ore settimanali)

Docente: Giancarlo Teppati

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

### REQUISITI

*Analisi matematica II*

### 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, 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

### ESAME

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

### BIBLIOGRAFIA

G.Teppati, "Lezioni di Analisi Matematica 3", Levrotto&Bella, Torino, 1995

G.Teppati, "Esercizi svolti di Analisi Matematica 3", 1995

G.Teppati, *"Esercitazioni di Analisi Matematica 3 e testi delle prove scritte e di esonero"*, Esculapio, Bologna, 1995.

## F0270 - L0270      Antenne

Anno: Periodo 4:1    Lezioni, esercitazioni: 8+8 (ore settimanali)

Laboratori: 8 (durante tutto il corso)

Docente: Mario Orefice

Il corso intende approfondire la teoria e i criteri di progetto delle antenne, con particolare risalto per gli aspetti applicativi e pratici. Esempi specifici ed esercizi verranno man mano svolti durante il corso senza distinzione tra lezione ed esercitazione. Il corso si svolgerà con 8 ore di lezione settimanali durante le quali saranno anche svolti esercizi; sono inoltre previste 4 ore in laboratorio e visite ad aziende.

### REQUISITI

*Campi elettromagnetici I* (ELN)

*Campi elettromagnetici II* (TLC)

È utile la conoscenza delle tecniche di programmazione su calcolatori (FORTRAN) per lo svolgimento di lavori individuali o di gruppo.

### PROGRAMMA

Il programma qui di seguito indicato, e soprattutto la distribuzione delle ore, ha necessariamente solo valore indicativo, in quanto il corso si deve adattare di lezione in lezione alle esigenze didattiche e del calendario.

*Concetti fondamentali sull'irradiazione e nozioni generali sulle antenne* [4 ore]

*Irradiazione da antenne ad apertura:* [14 ore]

Campo vicino e lontano; trattazione di problemi elettromagnetici con metodi quasi ottici; metodi di calcolo del campo diffratto: metodo delle aperture, metodo dell'ottica fisica. Esempi di applicazioni

*Analisi e progetto di vari tipi di antenne ad apertura:* [36 ore]

Trombe, paraboloidi, cassegrain, antenna a fascio sagomato, lenti

*Teoria Geometrica della Diffrazione e sue applicazioni* [8 ore]

Antenne ad onda progressiva: [2 ore]

Antenne "surface wave" e "leaky wave"

Antenne a microstriscia [4 ore]

*Irradiazione da antenne filiformi:* [16 ore]

Tecniche di calcolo, accoppiamento tra antenne: mutua impedenza. Metodo dei momenti. Antenne per VLF, LF, MF: criteri generali ed esempi. Antenne ad elementi parassiti: Yagi Uda, ecc. Antenne a larga banda: spirali coniche e piane, log periodiche, ecc. Antenne ad elica in modo assiale e normale

*Schiere di antenne:* [12 ore]

Metodi di calcolo e di progetto. Schiere a scansione elettronica: criteri generali di progetto, vari tipi di realizzazione, loro applicazioni. Elementi irradianti delle schiere: trombe, dipoli, fessure, antenne stampate

*Misure su antenne:* [6 ore]

Guadagno, diagramma di irradiazione. Misure di fase, di polarizzazione e di pendenza. Varie tecniche di misura in campo lontano e in campo vicino

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vertono sul programma svolto a lezione, e sono integrate con le lezioni.

## LABORATORIO

Misure su antenne

## BIBLIOGRAFIA

Appunti raccolti sotto forma di dispense

### Testi ausiliari

Jasik, Johnson, "*Antenna engineering handbook*", 2nd ed., McGraw Hill, 1984

A. Rudge et al., "*The handbook of antenna design*", 2 vol., Peter Peregrinus, 1983

S. Silver, "*Microwave antenna theory and design*", McGraw Hill, 1949

J.D. Kraus, "*Antennas*", 2nd ed., McGraw Hill, 1988

W. Rusch, "*Lectures on reflector antennas*", CELID, Torino, 1979

## ESAME

L'esame può essere sostenuto secondo due modalità distinte:

### 1. Esame tradizionale:

- Consiste in una prova scritta ed una prova orale che devono essere sostenute nello stesso appello, entrambe le prove vertono sull'intera materia del corso; la prova scritta consiste in un esercizio di progetto o di analisi di una configurazione d'antenna. Durante le prove scritte è possibile consultare qualunque testo. Per accedere alla prova orale è necessario ottenere una valutazione della prova scritta superiore o uguale a 10/30; la valutazione in trentesimi dell'esame consiste nella media dei due voti ottenuti nella prova scritta e nella prova orale. I risultati degli esami di tutti coloro che consegnano la prova scritta vengono registrati, qualunque sia il risultato finale. La prova scritta può essere consegnata non più di una volta per sessione

### 2. Esame con tesina:

- Consiste nello svolgimento, in sostituzione della prova scritta, di una tesina su un argomento proposto dal docente

**L0300****Architettura dei sistemi integrati**

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione o Laboratorio: 4+4(ore settimanali)

Docente: Pierluigi Civera

Il corso si inquadra nell'ambito di un curriculum di studi di indirizzo circuitale e verte principalmente sullo studio, analisi e progettazione di architetture di sistemi integrati su silicio. Viene data particolare enfasi alla parte metodologica ed allo studio di sistemi da realizzare preferibilmente in forma digitale.

Durante la prima parte del corso si rianalizzano alcuni aspetti tecnologici, elettrici e logici rilevanti sotto l'aspetto della progettazione di sistemi complessi e si illustrano alcune metodologie di progetto.

In seguito si descrivono ed analizzano, come casi di studio, alcune soluzioni architetture significative, a partire da semplici architetture di microcontrollori fino a soluzioni speciali per sistemi complessi di elaborazione e trattamento dei dati.

**REQUISITI**

Il corso verte su aspetti di progettazione integrata di sistemi pertanto è requisito utile l'aver seguito o il corso di *Elettronica dei sistemi digitali*, o preferibilmente il corso di *Microelettronica*.

**PROGRAMMA**

- Considerazioni generali ed aspetti metodologici, definizione dei possibili parametri di misura, metodi base di analisi, sintesi e valutazione.
- Analisi dei requisiti, decomposizione su più livelli funzionali, descrizione del comportamento, mappe di transizione tra gli stati. Tecniche di ripartizione e di scheduling, generazione di sotto-specifiche funzionali e di interfaccia, criteri di scelta e mappatura tecnologica con elementi base.
- Analisi e caratterizzazione degli elementi base per la progettazione a livello architetture. Sono ripresi e descritti i blocchi funzionali combinatori, di memoria, sequenziali ed i blocchi di interfaccia. Catalogazione degli elementi base secondo parametri di sistema.
- Valutazione delle problematiche relative alle sezioni di interfaccia, alle interconnessioni in genere, alla distribuzione delle alimentazioni ed alla distribuzione dei segnali di cadenza (*clock*) e di evento.
- Macchine a stati finiti singole, multiple, cooperanti. Microsequenziatori, controllori microprogrammati. Architetture di *data-path* e di unità di controllo.
- Tecniche di descrizione *data-flow* e *control-flow*. Regimi di funzionamento e protocolli di passaggio dati (sincroni ed asincroni), aree a comune regime temporale. Tecniche di parallelizzazione e di scalamento temporale (*pipeline*) delle operazioni.
- Strutture regolari (memorie), strutture programmabili/configurabili. Architetture interne di processori (microcontrollori, processori CISC e RISC e VLIW, scalari, vettoriali), architetture specifiche per un dato dominio di applicazioni (*digital signal processor*, filtri numerici, controllori di periferiche, codificatori e decodificatori,...).

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula vertono sulla applicazione dei concetti visti durante le lezioni, in particolare sono svolti esercizi di analisi, valutazione e progetto relative alle principali parti di sistema.

1. Analisi dei requisiti e generazione delle sottospecifiche.
2. Caratterizzazione di una tecnologia digitale.
3. Estrazione dei parametri di alcuni blocchi base.
4. Valutazione dei ritardi e dell'integrità dei segnali nelle interconnessioni.
5. Simulazioni di sottosistemi combinatori e sequenziali.
6. Macchine astratte e definizione del set di istruzioni.
7. Definizione di microarchitetture e valutazione delle prestazioni.
8. Progetto finale (tema variato di anno in anno, da svolgere a gruppi, facoltativo).

## LABORATORIO

Le esercitazioni di laboratorio sono suddivise in due fasi:

1. La prima fase consiste nell'impiego di simulatori per l'analisi e la caratterizzazione dei problemi di impatto sulla architettura di sistema.
2. La seconda fase consiste nell'uso di strumenti CAD (basati in particolare sul linguaggio VHDL) per la progettazione di circuiti integrati; questa fase si prolunga facoltativamente con l'uso di tali strumenti per lo svolgimento di un progetto finale.

## BIBLIOGRAFIA

Il corso non dispone di un testo specifico di riferimento. Durante lo svolgimento dei vari moduli verranno indicati testi ed articoli di riferimento.

### Testi ausiliari

N.H.E. Weste, K. Eshraghian, "*Principles of CMOS VLSI Design: A system perspective*", Second Edition, Addison Wesley Publishing Company, 1992

J.H. Hennessy, D.A. Patterson, "*Computer Architecture: A Quantitative Approach*", Morgan Kaufmann Publishers, Inc. San Mateo CA, 1990

Altri testi di consultazione saranno indicati durante il corso.

## ESAME

Esame orale, con valutazione dell'eventuale lavoro di progetto (svolgimento facoltativo).

**PO350****Automazione a fluido**

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazioni: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Guido Belforte

Il corso ha lo scopo di far conoscere i diversi sistemi di automazione a fluido attualmente utilizzati e di fornire le nozioni di base indispensabili per una corretta progettazione e per un uso razionale degli impianti a fluido. Vengono quindi analizzati componenti ed elementi di vari tipi di sistemi pneumatici, micropneumatici e fluidici, digitali e proporzionali.

Vengono inoltre fornite nozioni di analisi dei sistemi, di tecniche di automazione digitale e di modellazione dei sistemi pneumatici.

**REQUISITI**

Nozioni acquisite con la frequenza del corso di *Meccanica Applicata alle Macchine*.

**PROGRAMMA**

- Struttura dei sistemi automatici. Proprietà dei sistemi pneumatici, micropneumatici, fluidici, oleodinamici. Cilindri a semplice e doppio effetto. Valvole a due, tre, quattro vie; comandi, funzionamento e simbologia delle valvole. Valvole ausiliarie dei circuiti pneumatici (*OR*, *AND*, sequenza, di non ritorno, temporizzazione, regolatori di flusso, scarico rapido, economizzatrice, ecc). Proprietà delle valvole pneumatiche. [Ore 8]
- Principi di algebra logica. Funzioni combinatorie e sequenziali. Operatori logici e relativa simbologia ISO-IEC. Tipi di memorie. Elementi pneumologici. [Ore 4]
- Elementi micropneumatici Samsomatic, Dreloba, Selp. Getti e principi di fluidica. Elementi fluidici digitali e proporzionali: funzionamento e caratteristiche operative. [Ore 8]
- Sistemi a tempo e ad eventi. Diagrammi funzionali: movimenti-fasi, Grafcet, Gemma. Tecniche di controllo digitali a logica cablata e programmabili. Elementi con memorie pneumatiche, con memorie ausiliarie, contatori binari, programmatori a fase, moduli sequenziatori. Comandi con relè: funzioni logiche combinatorie e sequenziali; tecnica del Grafcet contratto. Controllori logici programmabili (PLC): proprietà generali e linguaggi di programmazioni (lista di istruzioni, sequenziale, ladder). Criteri di scelta tra sistemi con sequenziatori, relè, PLC. [Ore 14]
- Elementi di interfaccia, elettrovalvole e sistemi elettropneumatici digitali e proporzionali. Sensori ed elementi di fine-corsa, elementi periferici. [Ore 6]
- Cilindri specializzati e applicazioni dei sistemi pneumatici. [Ore 4]
- Modellazione e comportamento dinamico dei sistemi pneumatici: resistenze, capacità, induttanze. Sistemi a parametri concentrati e distribuiti, propagazione dei segnali pneumatici. Esempi di modellazione di circuiti pneumatici. [Ore 6]
- Struttura degli impianti pneumatici, alimentazione degli impianti, trattamento dell'aria, affidabilità, aspetti energetici, ecologici e di sicurezza. [Ore 6]

## LABORATORIO

Viene svolto un ciclo di 12 esercitazioni di laboratorio della durata ognuno di 4 ore.

Durante ogni esercitazione vengono sviluppate una o più gruppi di prove.

Le esercitazioni devono essere svolte da singole squadre di studenti che seguono ciascuna un proprio percorso con assistenza in laboratorio.

Il programma dettagliato delle esercitazioni sarà distribuito ad ogni singola squadra.

La presenza alle esercitazioni è obbligatoria e condiziona la firma di frequenza.

Di tutte le esercitazioni deve essere preparata una relazione che viene presentata quando si effettua l'esame.

La relazione comprende un testo che descrive gli scopi, le attrezzature usate, le modalità di prova, ecc. e contiene tutti i dati sperimentali misurati ed elaborati, e una serie di tavole.

Il testo può essere preparato singolarmente, da ogni studente, o dall'intera squadra, per cui può essere disponibile un unico testo per ogni singola squadra.

Le tavole illustranti gli schemi delle prove e i diagrammi riassuntivi devono essere singoli per ogni studente. Dette tavole possono essere preparate:

- a) completando le tavole allegate al testo di esercitazioni;
- b) preparando interamente dette tavole su carta millimetrata (non sono ammesse fotocopie di tavole del testo).

## BIBLIOGRAFIA

G.Belforte, N.D'Alfio, "*Applicazioni e prove dell'automazione a fluido*", Ed. Ing. Giorgio, Torino, 2° edizione, 1992

G.Belforte, "*Pneumatica*", Tecniche Nuove, Milano, 1987.

### Testi ausiliari:

D.Bouteille, G.Belforte, "*Automazione flessibile elettropneumatica e pneumatica*", Tecniche Nuove, Milano, 1987.

## ESAME

L'esame si svolge in forma orale sull'intero programma (lezione ed esercitazione), con discussione, in particolare, di quanto svolto in laboratorio.

## L0370 - N0370 Automazione industriale

Anno: Periodo 5:1 Lezione 10 (ore settimanali)

Docente: Francesco Donati

Il corso intende avviare l'allievo alla progettazione di sistemi per l'automazione industriale. Vengono quindi analizzate le fasi progettative dalla specifica dei requisiti, all'analisi di fattibilità, allo sviluppo della concezione di sistema, alla progettazione ed al collaudo. Particolare attenzione viene data alla progettazione della logica di controllo.

### REQUISITI

Il corso presuppone le conoscenze di base necessarie alla definizione dei modelli matematici di sistemi fisici e di impianti impiegati nell'industria.

Si presuppone pure un'adeguata conoscenza dei metodi di analisi e trattamento dei segnali, ivi compresi quelli aleatori.

### PROGRAMMA

*La modellizzazione matematica come strumento base della conoscenza*

- I modelli matematici
- Criteri e valutazione dell'approssimazione: la misura in norma
- L'approccio a due modelli con differente livello di approssimazione

*L'organizzazione di un sistema di controllo automatico digitale nell'ambito di una struttura gerarchica*

- Il generatore dei riferimenti
- L'osservatore
- Il controllo di catena chiusa
- La specifica dei requisiti di sistema
- La concezione del sistema di automazione
- l'architettura costruttiva
- l'organizzazione logica in sottosistemi e in funzioni
- la specifica dei requisiti relativi ai sottosistemi

*La progettazione della logica di controllo*

- Il progetto del generatore dei riferimenti
- Il progetto dell'osservatore
- Il progetto del controllo di catena chiusa
- La simulazione numerica come strumento di progetto
- L'affidabilità ed il comportamento in condizioni di guasto
- nozioni elementari di affidabilità
- l'autodiagnostica
- il degradamento controllato delle prestazioni in condizioni di guasto

Sviluppo di casi tipici: i casi trattati saranno variabili di anno in anno e la loro trattazione occuperà un tempo pari al 40% del corso.

### BIBLIOGRAFIA

Sono in preparazione le dispense del corso.

**ESAME**

L'esame consiste in una prova scritta sullo sviluppo di un piccolo progetto, seguita immediatamente dalla prova orale.

**N0390****Azionamenti elettrici per  
l'automazione**

Anno: Periodo 5:1 Lezioni, Esercitazioni: 4 +4 (ore settimanali)

Docente: Alfredo Vagati (Collab.: Michele Pastorelli)

Scopo del corso è quello di descrivere gli attuali azionamenti industriali impiegati nel campo dell'automazione ad alte prestazioni (macchine utensili, robotica): Vengono trattate le problematiche sia di macchina sia di controllo di azionamento, con un orientamento il più possibile di tipo applicativo.

**REQUISITI**

Il Corso, di carattere interdisciplinare è destinato ad allievi informatici, elettronici, elettrici e meccanici. Sono richieste le nozioni fondamentali di *Elettrotecnica* e di *Controlli automatici*. Pur non essendo strettamente necessaria è consigliabile per gli allievi elettronici ed automatici la frequentazione del Corso di *Macchine Elettriche*.

**PROGRAMMA**

- Introduzione al corso. Elementi caratteristici di un azionamento. Tipologie applicative di azionamenti. Azionamenti ad alte prestazioni dinamiche. Azionamenti tipo asse e tipo mandrino (deflussaggio). Controllo di coppia e controllo di azionamento. [4 ore]
- Controllo di azionamento. Caso esemplificativo del motore in corrente continua. Struttura "*cascade control*" e sue motivazioni. Limitazioni fisiche (saturazioni). Compensazione PI ed effetto coda. Fenomeno del *wind-up*. Effetto dinamico delle risonanze torsionali lato tachimetrico e lato motore. Effetto del *ripple* di misura della velocità. Impiego di osservatori di carico e/o di filtraggio del *ripple* tachimetrico. [18 ore]
- Motori in c.c. ad alte prestazioni. Servomotori a magneti permanenti. Caratteristiche dei moderni materiali. Strutture costruttive diverse e loro impatto sui parametri di controllo. Modello termico del motore in c.c.. Valutazione della temperatura massima durante cicli di sovraccarico. [6 ore]
- Amplificatori *switching (chopper)* per il comando di servo-motori in c.c. Quadranti di funzionamento e tecniche di comando. Tecniche di modulazione. confronto tra tecniche di modulazione sulla base dell'ondulazione di corrente. Perdite nel ferro indotte dalla modulazione. Dimensionamento energetico del *bus* di alimentazione. *chopper, inverter, inverter* modulato: estensione al comando di motori in c.a.. [8 ore]
- Analisi della commutazione elettronica. commutazione non assistita (monoquadrante). Impatto della non idealità del diodo di ricircolo, modello del diodo. Commutazione assistita al *turn-on* e al *turn-off* (monoquadrante). Commutazioni (assistite) di una gamba di inverter. Specificità di diversi tipi di componenti attivi. Cenni sui circuiti di pilotaggio e di protezione. [12 ore]

- Servomotori *brushless*. Motivazioni tecnologiche e principi di funzionamento. Generalità costruttive. Modellistica, equazioni di macchina, bilancio energetico. *Brushless* trapezio isotropo. Caratteristiche costruttive. Alimentazione in tensione e corrente. Definizione della corrente equivalente e controllo PWM. Funzionamento da motore e generatore, limitazione di tensione, ondulazione di coppia. Tachimetro *brushless*. [15 ore]
- Servomotore *Brushless* sinusoidale. Caratteristiche costruttive. Deduzione delle equazioni trasformate in assi rotanti (d, q). Controllo a  $i_d=0$  (caso isotropo). effetto sul controllo dell'eventuale anisotropia rotorica. Controllo vettoriale di corrente. Limitazione di tensione. Tecniche di modulazione per il controllo vettoriale. Resolver e relativa demodulazione. [15 ore]
- Controllo a orientamento di campo del motore a induzione. Deduzione delle equazioni in assi generici. Principio del controllo a orientamento di campo. Controllo diretto e indiretto, impiego di osservatori di flusso. Implementazione del controllo vettoriale e prerogative di deflussaggio. [8 ore]
- Motori sincroni a riluttanza. Particolarità costruttive. Equazioni in assi d, q. Controllo di corrente in assi fissi ed in assi rotanti, prestazioni caratteristiche. [6 ore]
- Confronto applicativo tra le diverse motorizzazioni in corrente alternata: densità di coppia, deflussibilità, costo. [4 ore]

#### LABORATORIO

Verranno effettuate dimostrazioni pratiche del funzionamento di azionamenti in corrente alternata per asse e per mandrino. saranno utilizzati azionamento impiegati industrialmente, con visualizzazione dei principali segnali di stato.

#### BIBLIOGRAFIA

Essendo il Corso di carattere decisamente applicativo, non è individuabile alcun testo che possa essere ritenuto di riferimento.

#### Testi ausiliari

Verranno fornite indicazioni al riguardo, a seconda delle esigenze specifiche.

#### ESAME

L'esame sarà svolto oralmente.

## F0410 - N0410      **Basi di dati**

Anno: Periodo 4,5: 2    Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+2+2(ore settimanali)

Docente: Claudio Demartini (Collab.: Elena Baralis)

Il corso comprende un'ampia trattazione della tecnologia delle basi di dati introducendo anche i risultati più recenti conseguiti nell'ambito delle attività di ricerca del settore. Le attività di laboratorio permettono di prendere contatto con i prodotti commerciali più recenti. Inoltre, i progetti di basi di dati per specifiche applicazioni elaborati in tale contesto permettono agli allievi la sperimentazione di efficienti metodologie di analisi.

### REQUISITI

*Fondamenti di Informatica I e Fondamenti di Informatica II oppure Fondamenti di Informatica e Sistemi Informativi.*

### PROGRAMMA

*I principi fondamentali e l'architettura delle Basi di Dati:*

- Fornisce un'ampia introduzione sui concetti dei sistemi di basi di dati in generale ed in particolare evidenzia le differenze tra l'approccio relazionale e non relazionale a tali sistemi. Nel corso viene trattato principalmente l'approccio relazionale

*I Sistemi Relazionali:*

- Questa parte del corso tratta in modo esaustivo i concetti alla base dei sistemi relazionali con riferimenti a prodotti IBM quali DB2. Viene, inoltre, ampiamente trattato il linguaggio SQL (*Structured Query Language*) utilizzandolo come veicolo per illustrare i concetti fondamentali dei sistemi relazionali. In particolare, viene anche presentato il prodotto INGRES che rappresenta un altro punto di riferimento nell'area dei sistemi relazionali

*Il Modello Relazionale:*

- Questa parte consiste in una dettagliata analisi della teoria fondamentale propria del Modello Relazionale. A tale proposito viene effettuata un'indagine approfondita degli aspetti relativi ai tipi di dati (Relazione) delle Regole di Integrità di una base dati e delle operazioni che possono essere effettuate sui dati (Relazioni) coerentemente con i vincoli specificati dalle regole di integrità. In particolare, vengono presentati il Calcolo Relazionale e l'Algebra Relazionale per la definizione delle operazioni proprie del Modello Relazionale. Sono previste esercitazioni in aula

*L'ambiente della Base di Dati*

- Vengono esaminati alcuni importanti aspetti quali le procedure di *Recovery* di una base dati danneggiata da anomalie dovute a cause esterne (cadute di tensione), o operazioni condotte in modo errato, le regole per la gestione della Concorrenza negli accessi a dati condivisi, le regole per la Sicurezza ed Integrità dei dati. Inoltre, con particolare attenzione vengono anche definite le procedure ed i compiti relativi alla amministrazione della base dati

### *Il Progetto della Base di Dati:*

- In questa fase viene presentato il Modello Entità-Relazione come approccio metodologico alla progettazione di una base di dati. In particolare vengono trattati dettagliatamente tutti i passi necessari per passare dalla descrizione in linguaggio naturale del problema presente in una specifica di massima alla rappresentazione grafica delle entità individuate nella stessa specifica e delle relazioni che intercorrono tra esse. Viene, inoltre, presentata la metodologia alla base del progetto logico della base dati derivandolo direttamente dallo schema Entità-Relazioni sviluppato per il problema. Sono previste esercitazioni in aula ed in laboratorio su problemi reali

### *L'Evoluzione della tecnologia delle Basi di Dati*

- Viene presentata una panoramica sui sistemi distribuiti ed una introduzione alle basi di dati fondate sui principi della logica con particolare riferimento all'elaborazione delle interrogazioni recursive. Vengono esaminate, inoltre, le basi di dati ad oggetti, quale tecnologia emergente nel settore delle basi di dati

## LABORATORIO

Le esercitazioni di laboratorio hanno come oggetto l'uso da parte degli allievi del linguaggio SQL mediante l'impiego di un prodotto della GUPTA denominato SQL WINDOWS. Inoltre, mediante l'uso di un prodotto CASE gli allievi potranno sperimentare su problemi reali le metodologie di analisi basate sul Modello Entità-Relazioni giungendo alla realizzazione delle basi di dati e delle specifiche applicazioni che ad esse fanno riferimento.

## BIBLIOGRAFIA

C. J. Date, "An Introduction to Database Systems", Vol. I, Fifth Edition, Addison Wesley, 1990

C. Batini, S. Ceri, S. B. Navathe, "Conceptual Database Design", Benjamin Cummings, 1992

### **Testi ausiliari**

E. Baralis, C. Demartini, "Appunti di Basi di Dati", 1995

## ESAME

L'esame consta di uno elaborato scritto comprendente due parti:

1. Teoria
2. Progetto (Modello E-R), Linguaggio SQL.

Segue un colloquio orale per la discussione dell'elaborato.

Condizione necessaria, ma non sufficiente, per il superamento dell'esame è il conseguimento del risultato positivo nella parte di Teoria presente nell'elaborato.

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione o Laboratorio:4+4(ore settimanali)

Docente: Cristina Bignardi

Il corso ha lo scopo di fornire agli allievi una panoramica delle problematiche della biomeccanica e delle principali metodologie numeriche e sperimentali utilizzate in questa disciplina. Vengono approfondite tematiche riguardanti i materiali biologici e di sostituzione e il comportamento del corpo umano in particolare in risposta alle azioni dinamiche.

### REQUISITI

Concetti fondamentali di *Meccanica razionale*, *Meccanica applicata alle macchine*, *Scienza delle costruzioni* (a coloro che non hanno frequentato tali corsi verrà fornito materiale didattico all'inizio del corso)

### PROGRAMMA

*Introduzione alla biomeccanica* [6 ore]

- Origini e problematiche della biomeccanica
- Richiami di fisiologia

*Metodi sperimentali utilizzati in biomeccanica* [4 ore]

- Tecniche, attrezzature e metodologie di rilevazione dei dati meccanici relativi al corpo umano
- Metodi per l'analisi delle tensioni e delle deformazioni in strutture biologiche

*Materiali* [16 ore]

- Caratterizzazione di materiali biologici (osso, muscoli, legamenti, cartilagine)
- Biomateriali: caratteristiche, biocompatibilità, problematiche

*Biomeccanica delle articolazioni umane portanti e non portanti* [10 ore]

- Articolazione d'anca
- Articolazione di ginocchio
- Articolazione di caviglia
- Articolazione di spalla
- Articolazione di gomito

*Biomeccanica cardiocircolatoria* [6 ore]

*Resistenza del corpo umano alle azioni dinamiche* [2 ore]

*Interazione uomo-veicolo* [4 ore]

- Modelli matematici e modelli sperimentali
- Studio in condizioni normali per la valutazione del comfort
- Studio in condizioni d'urto per la valutazione del danno

*Analisi del movimento* [6 ore]

- Tecniche sperimentali per l'analisi del movimento umano
- Modelli matematici per la simulazione del movimento

## ESERCITAZIONI IN AULA E NEI LABORATORI

È prevista la suddivisione in squadre per la realizzazione di esercitazioni in laboratorio, relativamente alle quali si richiede una relazione.

- Caratteristiche meccaniche dell'osso [6 ore]
- Modelli segmentali apparato locomotore e analisi del movimento [4 ore]
- Biomeccanica cardiocircolatoria [2 ore]
- Biomateriali [2 ore]
- Visita al Centro Sicurezza Fiat
- Analisi del rimodellamento osseo [6 ore]

### **Testi di riferimento**

Dispense fornite dal docente

### ESAME

Prova scritta seguita da una verifica orale. La valutazione finale tiene conto della partecipazione dimostrata e della qualità delle relazioni relative alle esercitazioni svolte.

**N0460****Calcolatori elettronici**

Anno: Periodo 3:1 Lezione, Esercitazione: 6 + 4 (ore settimanali)

Docente: Matteo Sonza Reorda (Collab.: Maurizio Rebaudengo)

Scopo del corso è di fornire informazioni approfondite sulla struttura dei sistemi di elaborazione, tramite analisi comparate delle principali architetture (Intel, Motorola, DEC, MIPS, ecc.).

In particolare, viene analizzata l'organizzazione interna ed i principi di funzionamento delle CPU, della memoria e delle strutture di interconnessione e di ingresso/uscita.

L'esemplificazione pratica verrà effettuata tramite l'analisi delle famiglie Intel 80x86 e Motorola 680x0.

**REQUISITI**

*Fondamenti di informatica II*

**PROGRAMMA**

*Presentazione del corso* [1 ora]

*Architettura dei Sistemi di Elaborazione:*

Evolutione dei Calcolatori [4 ore]

*Metodologie di Progetto:*

Livello *gate*, livello *register*, livello *system*, analisi delle prestazioni [4 ore]

*I Processori:*

Architettura e Funzionamento, Rappresentazione dell'Informazione, i linguaggi *Assembler* [4 ore]

*Input-Output:*

Principali dispositivi e modalità di gestione (*interrupt*, *polling*, *DMA*) [6 ore]

*Organizzazione della Memoria:*

Tipi di memorie, memoria virtuale, memorie ad alta velocità [8 ore]

*Unità Aritmetiche* [6 ore]

*Le Unità di Controllo:*

Controllo *hardwired* e microprogrammazione [10 ore]

I processori RISC (Sparc, PowerPC) e superscalari (Alpha, Pentium) [6 ore]

*Le comunicazioni:*

*I bus* [4 ore]

*Cenni sulle Architetture Parallele* [2 ore]

*La famiglia Intel 80x86:*

Architettura [2 ore]

Il linguaggio *Assembler 80x86* [20 ore]

*Assembler 80x86: programmazione avanzata (recursione, procedure richiamabili dal C)* [2 ore]

Le periferiche [8 ore]

*La famiglia Motorola 680x0*

Architettura [2 ore]

Il linguaggio *Assembler* [4 ore]

Le periferiche [2 ore]

#### LABORATORIO

Sono previste esercitazioni sperimentali in laboratorio su Personal Computer relative alla programmazione in linguaggio assembler ed alla gestione di schede di interfaccia di varia natura. Le esercitazioni sono assistite da un borsista.

#### BIBLIOGRAFIA

W. Stallings, "*Computer Organization and Architecture*", MacMillan Publishing Co., 1993

Yu-Cheng Liu, G.A. Gibson, "*Microcomputer Systems: the 8086/8088 Family*", Prentice-Hall, 1986

M. Rebaudengo, P. Prinetto, M. Sonza Reorda, "*Il Linguaggio Assembler 8086/8088*", Levrotto&Bella, Torino, 1995

J. L. Antonakos, "*The 68000 Microprocessor*", MacMillan Publishing Co., 1993

I docenti metteranno a disposizione degli studenti copia dei lucidi utilizzati a lezione ed esercitazione

#### ESAME

L'esame si compone di 2 parti:

1. esame scritto: consiste nella scrittura di un programma Assembler di 50/100 righe
2. esame orale

Il superamento dell'esame scritto è condizione necessaria per l'ammissione all'esame orale.

La validità della prova scritta è limitata ai 3 appelli successivi.

L'esame scritto può essere sostituito dallo svolgimento di un lavoro di laboratorio assegnato durante il corso e consistente nella scrittura di un programma Assembler per una scheda 8086.

**F0490****Calcolo delle probabilità**

Anno:Periodo 2:2

Docente: Giovanni Pistone

Il corso si propone di presentare i primi concetti di Calcolo delle Probabilità; vengono particolarmente sottolineati, soprattutto con lo svolgimento di esempi ed esercizi, quegli argomenti di speciale interesse per le applicazioni al Segnale, ai Controlli, alla Simulazione, all'Informazione, alla Qualità.

Oltre alle nozioni di base, vengono presentati elementi di Statistica Matematica.

Il corso è suddiviso 2 parti: la prima è strutturata in 5 capitoli, corrispondenti a 50 ore tra lezioni ed esercizi, ed ha un programma che corrisponde a quello svolto nei corsi di Calcolo delle Probabilità ridotti; la seconda è strutturata in 5 capitoli corrispondenti a 50 ore tra lezioni ed esercizi.

**REQUISITI**

Gli argomenti svolti utilizzano liberamente tutte le nozioni di matematica presentate nei corsi di *Analisi* e di *Geometria*: in particolare è indispensabile conoscere serie numeriche e integrali multipli.

**PROGRAMMA**

- Probabilità e variabili casuali, schema di Bernoulli finito.
- Probabilità e variabili casuali discrete, schema di Bernoulli infinito.
- Valore atteso, probabilità continue.
- Dipendenza e indipendenza.
- Distribuzione gaussiana.
- Complementi sui teoremi limite e sulla distribuzione gaussiana.
- Complementi sulle distribuzioni condizionate e verosimiglianza statistica.
- Stima statistica, modello lineare.
- Simulazione.
- Catene di Markov.

**BIBLIOGRAFIA**

I testi più adatti alla preparazione sono:

Franco Fagnola, Giovanni Pistone, "*Primo semestre di Probabilità*", 2a ed., CLUT Torino 1996.

Paola Siri, "*Primo semestre di Probabilità: soluzioni di esercizi*", CLUT Torino 1996.

Athanasios Papoulis, "*Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*", 3rd ed., Mc Graw-Hill New York 1991

Sono disponibili raccolte di testi di esami e sunti delle lezioni.

**ESAME**

La prova d'esame è scritta ed è data facoltà di sostenere le due parti in distinti appelli.

**L0494 - N0494      Calcolo delle probabilità (r)**

Anno: Periodo 2:2    Lezione:    (ore settimanali)

Docente: Stefano Olla

**REQUISITI**

*Analisi matematica II*

*[Testo non pervenuto in tempo per la stampa]*

**L0510****Calcolo numerico**

Anno: Periodo 3:1 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Giovanni Monegato

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

**REQUISITI**

*Analisi I, Geometria, Fondamenti di Informatica.*

**PROGRAMMA**

*Aritmetica, errori:* [5 ore]

Rappresentazione dei numeri in un calcolatore. Errori di arrotondamento, operazioni di macchina. Cancellazione numerica. Condizionamento di un problema, stabilità di un algoritmo

*Sistemi lineari:* [12 ore]

Metodo di eliminazione di Gauss. Decomposizione di Gauss e fattorizzazione LU. Determinazione matrice inversa. Metodi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR

*Autovalori di matrici:* [8 ore]

Metodo delle potenze. Metodo delle potenze inverse. Trasformazioni di similitudine e trasformazioni di Householder. Cenni sul metodo QR

*Approssimazione di dati e di funzioni:* [12 ore]

Interpolazione polinomiale: formule di Lagrange e di Newton. Interpolazione con funzioni polinomiali a tratti. Funzioni spline. Metodo dei minimi quadrati

*Equazioni non lineari:* [4 ore]

Radici di equazioni non lineari: metodi di bisezione, secanti, tangenti; metodi iterativi in generale. Sistemi di equazioni non lineari: metodo di Newton e sue varianti; metodi iterativi in generale

*Calcolo di integrali:* [6 ore]

Formule di quadratura di tipo interpolatorio: formule di Newton-Cotes e formule gaussiane. Formule composte. *Routine* automatiche

*Equazioni differenziali ordinarie:* [12 ore]

Metodi one-step espliciti. Metodi Runge-Kutta. Metodi *multistep* lineari. Metodi di Adams. Convergenza e stabilità dei metodi numerici. Sistemi *stiff*

*Equazioni alle derivate parziali:* [15 ore]

Caratteristiche. Classificazione delle equazioni quasi-lineari di ordine 2. Metodi alle differenze finite. Metodi dei residui pesati (collocazione, Galerkin). Elementi finiti

**ESERCITAZIONI**

Vengono sottolineati, con esempi, aspetti particolarmente importanti degli argomenti trattati nelle lezioni, svolti esercizi che contribuiscono ad una miglior comprensione

della teoria e costruiti algoritmi di calcolo. Vengono infine proposte allo studente delle esercitazioni al calcolatore da svolgere a casa o presso i LAIB del Politecnico.

#### BIBLIOGRAFIA

G.Monegato, "*Fondamenti di Calcolo Numerico*", Levrotto&Bella, Torino, 1990

#### ESAME

È prevista, per i soli iscritti al corso, una prova scritta di metà semestre (15-20 dicembre). Il superamento di questa prova comporta l'esonero della corrispondente parte di programma, purché l'esame finale sia sostenuto negli appelli n. 1,2,3.

- L'esame finale è solo orale
  - Nel corso della prova non è ammessa la consultazione di testi
  - L'eventuale ritiro durante la prova di esonero non comporta alcuna conseguenza
- Negli appelli previsti dal calendario l'esame è solo orale.

Anno: Periodo 2:2 Lezione, Esercitazione: 3+1 (ore settimanali)

Docente: Annamaria Orsi Palamara

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

#### REQUISITI

*Analisi I, Geometria, Fondamenti di Informatica.*

#### PROGRAMMA

*Aritmetica del calcolatore e algoritmi numerici* [4 ore]

Errori di arrotondamento, operazioni di macchina. Cancellazione numerica. Condizionamento di un problema, stabilità di un algoritmo

*Sistemi lineari* [10 ore]

Metodo di eliminazione di Gauss. Decomposizione di Gauss e fattorizzazione LU. Determinazione matrice inversa. Metodi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR

*Autovalori di matrici* [3 ore]

Metodo delle potenze. Metodo delle potenze inverse. Cenni sul metodo QR

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

Interpolazione polinomiale: formule di Lagrange e di Newton. Interpolazione con funzioni polinomiali a tratti. Funzioni spline. Metodo dei minimi quadrati

*Equazioni non lineari* [3 ore]

Radici di equazioni non lineari: metodi di bisezione, secanti, tangenti; metodi iterativi in generale. Sistemi di equazioni non lineari: metodo di Newton e sue varianti; metodi iterativi in generale

*Calcolo di integrali* [4 ore]

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

*Equazioni differenziali ordinarie* [5 ore]

Metodi one-step espliciti. Metodi Runge-Kutta. Metodi multistep lineari. Metodi di Adams. Convergenza e stabilità dei metodi numerici

#### ESERCITAZIONI

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

#### BIBLIOGRAFIA

G.Monegato, "Elementi di Calcolo Numerico", Levrotto&Bella, Torino, 1995

## ESAME

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

**L0531****Campi elettromagnetici I (ELN)**

Anno:Periodo 3:2 Lezione, Esercitazione: 6+4 (ore settimanali)

Docenti: (I corso) Renato Orta, (Collab.:Paola Pirinoli)

(II corso) Giuseppe Vecchi, (Collab.:Guido Perrone)

Il corso ha lo scopo di fornire le basi teoriche per la comprensione dei fenomeni di propagazione libera e guidata di onde elettromagnetiche. Il concetto centrale del corso è quello di modo di propagazione, che viene analizzato in profondità in vari contesti. Per quanto riguarda la propagazione guidata, viene sviluppata la teoria delle linee di trasmissione sia ordinarie sia multiconduttore, nonché la teoria delle guide d'onda. Per quanto riguarda l'irradiazione, sono presentate le caratteristiche di tipi comuni di antenne.

**REQUISITI**

*Elettrotecnica, Fisica II, Analisi matematica III*

**PROGRAMMA**

*Introduzione* [2 ore]

Presentazione corso. Presentazione delle applicazioni dell'elettromagnetismo

*Linee di trasmissione* [12 ore]

Modello fenomenologico di linea di trasmissione. Equazioni delle linee nel dominio della frequenza. Soluzione generale, onde progressive e regressive. Trasformazione dell'impedenza locale. Definizione dei coefficienti di riflessione. Diagrammi di tensione, corrente, impedenza. Linee con perdite: equazioni differenziali, soluzione generale. Calcolo della potenza, linee con piccole perdite

*Adattamento di impedenza* [2 ore]

Adattatore di uniformità a L, stub. Adattatore energetico a L. Adattatore a T e a  $\Pi$ . Adattatore a  $\lambda/4$ .

*Matrice scattering* [4 ore]

Matrice *scattering*: definizione, relazione con  $[Z]$ , utilità. Calcolo della potenza dissipata. Strutture attive, passive, senza perdite, reciproche. Spostamento dei piani di riferimento, cambiamento impedenze di riferimento. Connessione di due strutture: matrice S risultante. Matrice di trasmissione

*Transitori su linee di trasmissione* [6 ore]

Soluzione generale eq. linee nel dominio del tempo. Velocità di gruppo. Distorsione di un impulso gaussiano. Cenni a compressione di impulsi, solitoni, *Zero Dispersion Point*. Riflessioni multiple su linea ideale disadattata agli estremi. Diagramma a traliccio e interpretazioni varie

*Linee di trasmissione multiconduttore* [5 ore]

Linee multifilari: Circuito equivalente e equazioni. Autovalori, autovettori di tensione e corrente. Equazioni delle linee nella base modale. Circuito con linee multifilari e sua soluzione

*Equazioni di Maxwell* [4 ore]

Generalità. Definizioni, unità di misura, algebra vettoriale, fasori, diadiche

**Irradiazione in un mezzo omogeneo** [20 ore]

Soluzione nel dominio trasformato e funzione di Green. Dipolo elementare. Approssimazione di Fraunhofer. Parametri caratteristici: guadagno, impedenza di ingresso, ecc.. Equazione della trasmissione. Antenne ad apertura. Schiere di antenne

**Onde piane** [3 ore]

Onde omogenee e non omogenee, polarizzazione. Flusso di potenza

**Guide d'onda metalliche** [16 ore]

Equazioni di Marcuvitz e Schwinger. Modi TE, TM, TEM. Linee di trasmissione modali. Guida rettangolare. Cavo Coassiale. Discontinuità nelle guide metalliche: iridi. Sorgenti in guida d'onda. Perdite sulle pareti

**ESERCITAZIONI**

1. Linee di trasmissione ed adattatori [16 ore]
2. Matrice *scattering* [6 ore]
3. Transitori su linee di trasmissione [4 ore]
4. Linee multifilari [5 ore]
5. Onde piane e polarizzazione [3 ore]
6. Irradiazione e antenne [7 ore]
7. Guide d'onda metalliche [7 ore]

**BIBLIOGRAFIA**

F. Canavero, I. Montrosset, R. Orta, "*Linee di trasmissione*", Levrotto&Bella, Torino  
 P.Savi, G.Vecchi, "*Campi Elettromagnetici: Temi d'esame svolti*", CLUT  
 Appunti dalle lezioni

**Testi ausiliari**

G. Franceschetti, "*Campi Elettromagnetici*", Boringhieri  
 G. Conciauro, "*Introduzione alle onde elettromagnetiche*", McGraw Hill

**ESAME**

Scritto ed orale; dettagli esposti in bacheca.

Anno: Periodo 3:1 Lezione, Esercitazione: 6+6 (ore settimanali)

Docente: Rodolfo Zich

Il corso fornisce le basi teoriche per la comprensione dei fenomeni di propagazione guidata di onde elettromagnetiche. In particolare, scopo principale del corso è quello di mostrare come molti problemi di propagazione guidata possano essere risolti in termini di un circuito modale equivalente. Vengono pertanto date le basi per l'analisi dei circuiti a parametri distribuiti e viene affrontato in modo generale il problema della propagazione guidata. Vengono quindi discusse le caratteristiche di vari tipi di guide d'onda metalliche e dielettriche.

### REQUISITI

*Fisica II*

### PROGRAMMA

*Introduzione:* [8 ore]

Spettro elettromagnetico e sua utilizzazione. Equazione di Maxwell ed equazione d'onda nel dominio del tempo e della frequenza. Onde piane e teoremi generali. Condizioni al contorno

*Circuiti a parametri distribuiti:* [10 ore]

Modello fenomenologico di linea di trasmissione, equazioni delle linee nel dominio del tempo e della frequenza e loro soluzione. Analisi di circuiti. concetto di adattamento ad una singola frequenza e adattamento a larga banda

*Linee di trasmissione nel dominio del tempo:* [6 ore]

Linee dispersive chiuse su carichi adattati. Velocità di gruppo e condizioni di non distorsione. Analisi di distorsione di impulsi a banda stretta. Linee non dispersive chiuse su carichi disadattati non dispersivi

*Matrici scattering:* [6 ore]

Definizione e uso della matrice *scattering* per caratterizzare componenti ad alta frequenza.

*Linee multifilari:* [6 ore]

Equazioni delle linee multifilari e loro soluzione in termini modali. Risposta nel dominio del tempo e analisi di fenomeni di interferenza e di distorsione di segnali

*Analisi modale di guide d'onda metalliche:* [18 ore]

Guide d'onda a sezione trasversale non omogenea, formulazione di Marcuvitz-Schwinger. Equazioni trasversali. Modi TM, TE, TEM, ibridi e loro proprietà. Linee modali costanti di propagazione e impedenze modali. Eccitazione in guida d'onda. Discontinuità e analisi modale. Accoppiamento modale. Perdite in guida d'onda

*Esempi di guide d'onda per microonde:* [8 ore]

Guida metallica rettangolare, circolare e cavo coassiale. Microstriscia e stripline

*Guide dielettriche*: [6 ore]

Riflessione ad un'interfaccia dielettrica: coefficienti di Fresnel. Strutture dielettriche stratificate. Guida planare: interpretazione raggistica della propagazione e risonanza trasversale

*Fibre ottiche*: [2 ore]

Generalità. Fibre ottiche *step index* e *graded index*. Modi, condizioni di monomodalità. Fenomeni di dispersione e attenuazione nelle fibre

## ESERCITAZIONI

1. Calcolo diadico e vettoriale [4 ore]
2. Onde piane [6 ore]
3. Analisi di circuiti a parametri distribuiti: carta di Smith [4 ore]
4. Adattatori a frequenza singola: ad L, a T, a  $\Pi$  [6 ore]
5. Adattatori a larga banda [4 ore]
6. Parametri *scattering* [6 ore]
7. Linee di trasmissione nel dominio del tempo [4 ore]
8. Analisi di guide d'onda metalliche [4 ore]
9. Analisi di strutture dielettriche stratificate [4 ore]
10. Componenti in guida d'onda: divisori di potenza, accoppiatori direzionali, anello ibrido, filtri [2 ore]

## LABORATORIO

Sono previste esercitazioni di laboratorio di linea a fessura in guida d'onda rettangolare e con componentistica in microstriscia.

## BIBLIOGRAFIA

Appunti del docente

F.Canavero, I.Montrosset, R.Orta, "*Linee di trasmissione*", Levrotto&Bella, Torino

P.Savi, G.Vecchi, "*Campi elettromagnetici: temi d'esame svolti*", CLUT

### Testi ausiliari

G.Franceschetti, "*Campi Elettromagnetici*", Boringhieri, Torino, 1983

D.M.Pozar, "*Microwave engineering*", Addison Wesley, 1990

## ESAME

Scritto e orale.

## L0532

## Campi elettromagnetici II (ELN)

Anno: Periodo 5:2      Lezione:6/8 (ore settimanali)

Docente: *da nominare* (Collab.: il corso verrà tenuto in collaborazione con esperti di elettromagnetismo applicato tramite seminari)

Lo scopo del corso è quello di presentare le metodologie più moderne per il progetto e l'analisi di componenti (passivi) e sottosistemi a microonde. Ampio spazio verrà dato alla descrizione dettagliata delle varie tecniche ed ai problemi relativi alla loro numerizzazione. Durante il corso verranno sviluppati alcuni programmi di simulazione che permetteranno allo studente di verificare l'attendibilità delle metodologie impiegate attraverso il confronto con risultati presenti in letteratura. Lo studente alla fine del corso sarà in grado, a partire alle specifiche elettriche, di progettare e successivamente analizzare il componente o sottosistema richiesto, arrivando persino a definirne la sua geometria.

## PROGRAMMA

*Teoria elettromagnetica:*

- Equazioni di Maxwell; condizioni al contorno; comportamento del campo in prossimità di discontinuità. Relazioni costitutive: mezzi isotropi, anisotropi; non omogenei, dispersivi nel tempo e nello spazio, dielettrici artificiali. Potenza del campo elettromagnetico; derivazione del vettore di Poynting a partire dalla rappresentazione della potenza associata alla forza di Lorentz. Energia elettrica e magnetica; energia di scambio (reattiva), analogie circuitali. Quantità del campo elettromagnetico; tensore degli sforzi di Maxwell; pressione di radiazione; applicazioni per la navigazione nello spazio profondo. Deduzione nel dominio del tempo e della frequenza. Esempi di calcolo su interfaccia piana, slab con e senza perdite. Teorema di reciprocità; lemma di Lorentz; applicazioni: simmetria della matrice *scattering*, relazione tra guadagno ed area equivalente di un'antenna; calcolo del campo irradiato da una sorgente arbitraria. Teorema di equivalenza e sue applicazioni. Identità vettoriali: l'uso di considerazioni spettrali per la loro derivazione [10 ore]

*Calcolo asintotico:*

- Metodo del punto di sella nel caso di sella isolata del primo ordine; contributo degli estremi (deduzione). applicazioni al calcolo del campo diffratto da una superficie illuminata da un'onda elettromagnetica. Corrispondenza con le tecniche raggistiche (contributi di riflessione e di diffrazione). Applicazioni: per es. calcolo del guadagno di una lente gravitazionale, regione di focalizzazione, diagramma di irradiazione [8 ore]

*Diffrazione da corpi dielettrici:*

- Formulazione del problema, esposizione delle varie tecniche per corpi di dimensioni piccole e grandi in termini della lunghezza d'onda. Risoluzione con il metodo dei momenti (formulazione superficiale). Corpi dielettrici posti nella zona vicina di un'antenna: calcolo delle degradazioni del diagramma di irradiazione e delle perdite di trasmissione. Applicazioni: radome dielettrici di aeromobili [8 ore]

*Discontinuità in guida d'onda:*

- Tecniche di analisi: metodo dei momenti e tecnica del *mode matching*; confronti fra i due metodi. discontinuità trasversali: giunzioni, diaframmi, biforcazioni e setti metallici. Scelta delle funzioni di base; criteri di troncamento; determinazione della matrice *scattering* generalizzata; Interazione fra discontinuità in guida: modi accessibili e localizzati. Applicazioni: discontinuità in guida d'onda rettangolare, circolare e coassiale, calcolo delle matrici di proiezione, stesura del programma di calcolo della matrice *scattering* generalizzata; ricostruzione del campo sulla discontinuità per verificare le condizioni al contorno [14 ore]

*Modi di propagazione in guide d'onda di sezione arbitraria:*

- Formulazione del problema integrale e soluzione con il metodo dei momenti: scelta delle funzioni di base e di proiezione, funzioni a dominio intero e a sottodominio; il problema degli impulsi coincidenti. Formulazione differenziale: metodo di Kuhn; metodo dell'operatore esteso. Tecnica della risonanza trasversale. Confronto tra i vari metodi. Applicazioni: polarizzatore in guida d'onda circolare (progetto e analisi); guide d'onda a larga banda (*guide ridge*); accoppiamento modale [8 ore]

*Strutture guidanti periodiche:*

- Formulazione del problema. Teorema di Floquet; armoniche spaziali; onde di Bloch; curve di dispersione. strutture chiuse e aperte (modi di propagazione superficiale). Applicazioni [7 ore]

*Sintesi di filtri a parametri distribuiti:*

- Esposizione della procedura di sintesi per filtri a cavità monomodale. Realizzazioni in guida d'onda rettangolare per mezzo di diaframmi e setti (analisi delle configurazioni ottenute). Realizzazioni in microstriscia. Filtri in guide dielettriche. Sintesi di filtri a cavità bimodali: tecniche impiegate per realizzare l'accoppiamento modale [14 ore]

*Tecniche spettrali:*

- Formulazione del problema; valutazione della rappresentazione spettrale della funzione di Green in un mezzo dielettrico stratificato. Applicazione del metodo dei momenti nel dominio spettrale: Esempi: schermi perforati, griglie di polarizzazione, superfici selettive in frequenza. Applicazioni delle varie strutture [12 ore]

**BIBLIOGRAFIA**

Appunti dalle lezioni

**Testi ausiliari**

Collin, "*Foundations for microwave engineering*", McGraw Hill

Pozar, "*Microwave Engineering*", Addison Wesley Publishing Company

Mitra e S.W. Lee, "*Analytical techniques in the theory of guided waves*", The MacMillan Company, New York

ESAME

Orale.

**F0532****Campi elettromagnetici II (TLC)**

Anno: Periodo 3:2      Lezione e Esercitazione: 6/8 (ore settimanali)

Docente: Giuseppe Vecchi

**REQUISITI**

*Elettrotecnica, Analisi matematica III, Fisica II.*

**PROGRAMMA**

*Introduzione:* [2 ore]

Presentazione delle applicazioni dell'elettromagnetismo nelle telecomunicazioni

*Irradiazione in un mezzo omogeneo:* [18 ore]

Equazioni di Maxwell in mezzo omogeneo e definizione del problema; richiami di algebra vettoriale e diadica

Soluzione nel dominio trasformato (di Fourier) e funzione di Green. Onde sferiche

Formulazione coi potenziali; riduzione al caso statico

Dipolo elementare; relazioni energetiche

Approssimazione di Fraunhofer per sorgenti estese

Polarizzazione del campo elettromagnetico

*Antenne:* [30 ore]

Descrizione dell'antenna come componente di un sistema

Parametri caratteristici: guadagno, impedenza di ingresso, ecc.

Teorema di reciprocità e applicazioni

Antenne filari. Antenne ad apertura. Schiere di antenne

*Formulazione numerica di problemi elettromagnetici:* [6 ore]

Formulazione del problema dello *scattering* con equazione integrale

Discretizzazione dell'equazione integrale (metodo "dei momenti")

Introduzione al metodo agli elementi finiti (problemi interni)

*Sistemi di trasmissione via radio:* [18 ore]

Equazione della trasmissione

Rumore in collegamenti via radio; "*link budget*"

Effetto del terreno e dell'atmosfera in comunicazioni terrestri

Radar e sezione radar (RCS)

*Argomenti complementari:* [6 ore]

**BIBLIOGRAFIA**

Appunti dalle lezioni

"*Campi Elettromagnetici: Temi d'esame svolti*", CLUT, 1994

**Testi ausiliari**

G. Franceschetti, "*Campi Elettromagnetici*", Boringhieri, 1983

R.E Collin, "*Antennas and Radiowave Propagation*", McGraw Hill, 1985

**ESAME**

Scritto e orale, dettagli esposti in bacheca.

## F0620-L0620-N0620 Chimica

Anno: Periodo 1:1 Lezione, Esercitazione: 6+4 (ore settimanali)

Docente: (I corso) Alessandro Delmastro

(II corso) Daniele Mazza

(III corso) Emma Angelini

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

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

### PROGRAMMA

#### *Struttura atomica della materia*

- Il modello atomico di Bohr e sua applicazione all'atomo di idrogeno. Energia di ionizzazione e affinità elettronica. Massa atomica, massa molecolare e concetto di mole. Modello ondulatorio ed equazione di Schrödinger; ulteriori numeri quantici. Distribuzione degli elettroni negli orbitali atomici per  $Z > 1$ . Sistema periodico degli elementi e configurazioni elettroniche

#### *Legame Chimico*

- Legame ionico. Legame covalente, elettronegatività e polarità del legame. Delocalizzazione elettronica e risonanza. Struttura e geometria molecolare, ibridazione. La teoria degli orbitali molecolari, formazione di legami. Il legame metallico

#### *Reazioni chimiche e stechiometria*

- Numeri di ossidazione e nomenclatura dei composti chimici. Reazioni chimiche e loro bilanciamento

#### *Gli stati di aggregazione della materia*

- Le leggi classiche dei gas ideali. Equazione di stato ideale. Equazione di stato di Van der Waals. Teoria cinetica dei gas ed equazione fondamentale. Distribuzione delle energie e delle velocità (curve di Maxwell-Boltzmann). Interazioni intermolecolari e fenomeni critici nei gas reali. Proprietà e caratteristiche dello stato solido. Reticoli cristallini e celle elementari. Solidi covalenti, molecolari, ionici e metallici. Proprietà e caratteristiche dello stato liquido. Sistemi polifasici e diagrammi di stato

#### *Soluzioni*

- Proprietà colligative di soluzioni di non-elettroliti. Dissociazione elettrolitica. Conduttività di soluzioni elettrolitiche

#### *Cenni di Termodinamica Chimica*

- 1° Principio della Termodinamica. Termochimica: legge di Hess e legge di Kirchoff. Energia libera ed entropia

#### *Cinetica Chimica*

- Velocità e ordine di reazione. Energia di attivazione e catalizzatori

#### *Equilibrio Chimico*

- Legge dell'azione di massa. Equilibri omogenei ed eterogenei. Equilibri in soluzione acquosa (definizioni di acidi e basi). Prodotto ionico dell'acqua e pH. Idrolisi e soluzioni tampone. Prodotto di solubilità

*Elettrochimica*

- Elettrolisi e leggi di Faraday. Pile e f.e.m.. Potenziali normali di ossidoriduzione ed equazione di Nernst. Celle galvaniche di pratico impiego

*Cenni di radiochimica*

- Nuclidi stabili ed instabili. Tipi di decadimento. Reazioni nucleari

*Chimica Organica*

- Cenni di nomenclatura ed isomeria. Proprietà e reattività di: idrocarburi saturi ed insaturi, alogenoderivati, alcoli eteri, esteri, aldeidi e chetoni, acidi carbossilici, ammine, ammidi e nitrili. Polimeri e meccanismi di polimerizzazione; addizione e condensazione

*Chimica Inorganica Sistemática*

- Proprietà e reattività degli elementi e dei loro principali composti. I metalli alcalini. I metalli alcalino-terrosi. L'alluminio e alcuni metalli di transizione. Gli elementi del IV gruppo. Gli elementi del V gruppo. Ossigeno e zolfo, gli alogeni

## ESERCITAZIONI

1. Nomenclatura e semplici reazioni di ossidi, anidridi, acidi ossigenati, idruri e perossidi
2. Nomenclatura di sali e semplici reazioni. Unità di misura
3. Esercizi sui gas ideali
4. Esercizi sul significato quantitativo di formule e reazioni chimiche
5. Esercizi sulla concentrazione delle soluzioni e sulle proprietà colligative delle soluzioni di non elettroliti
6. Esercizi di termochimica
7. Calcoli su reazioni chimiche di equilibrio
8. Equilibri chimici di dissociazione termica
9. Soluzioni di elettroliti: conducibilità, equilibri di dissociazione ionica
10. Acidi e basi in soluzione: il pH
11. Calcoli su prodotto di solubilità, leggi di Faraday ed equazione di Nernst
12. Esercizi sulla nomenclatura di Chimica Organica. Esercizi di riepilogo

## BIBLIOGRAFIA

P.Corradini, "*Chimica generale*"

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

**Testi ausiliari**

L.Fine e H.Beall, "*Chimica per scienze ed ingegneria*", UniSES, Napoli

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

P.Silvestroni, "*Fondamenti di chimica*", Masson, Milano

J.L.Rosenberg, "*Chimica generale*", collana Schaum n°5, ETAS Libri

## ESAME

- L'esame si articola in due prove:
  1. Prova scritta
  2. Prova orale
- L'esame è valido con il superamento di entrambe le prove

- L'insufficienza conseguita nella prima prova comporta automaticamente il fallimento dell'esame e la conseguente registrazione della bocciatura
- La sufficienza conseguita allo scritto non assicura una votazione minima né tantomeno il superamento dell'esame
- La prova scritta avrà durata di due ore e consisterà in 30 quesiti, alcuni di natura teorica ed altri che richiederanno l'impostazione di un calcolo, a cui sarà riconosciuto un punteggio maggiorato
- Durante l'esecuzione della prova scritta gli studenti potranno avere con sé unicamente una calcolatrice tascabile e quanto necessario per scrivere
- Il punteggio massimo raggiungibile allo scritto è fissato in 30/30
- Tutti gli esaminandi che abbiano conseguito un punteggio minimo di 18/30 si presenteranno alla prova orale che si articolerà su tutto il programma, esercitazioni comprese

## F0760 - L0760      **Compatibilità elettromagnetica**

Anno: Periodo 5:2    Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Vito Daniele

L'obiettivo del corso riguarda l'emissione, la propagazione e la ricezione dei segnali non intenzionali ai fini della compatibilità elettromagnetica dei sistemi elettronici.

Nel corso si pone particolare attenzione agli aspetti applicativi, mediante esercitazioni di calcolo, simulazioni numeriche ed esercitazioni di laboratorio.

### REQUISITI

*Campi elettromagnetici I*

### PROGRAMMA

Introduzione [6 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Definizioni fondamentali. I tre requisiti EMC. Strategie EMC. Alcuni aspetti EMC. Esempi EMC. Concetti base di Elettromagnetismo. Decibel.

Requisiti di EMC [6 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Requisiti di tipo legislativo. Modalità di misure. Requisiti di tipo funzionale.

Comportamento EMC dei circuiti [10 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Effetto pelle ed importanza dell'induttanza esterna. Modo differenziale e modo comune. Equazioni delle linee. Tipologie di linee di trasmissione. Parametri interni ed esterni delle linee.

Antenne EMC [6 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Irradiazione di un dipolo elettrico. Irradiazione di un dipolo magnetico. Parametri delle antenne. Fattore di antenna. Fattori di correzione in presenza di terreno. Bilanciatori ed adattatori di impedenza. Antenne a larga banda.

Comportamento non ideale dei componenti [8 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Concetto di induttanza esterna ed applicazione al comportamento EMC dei fili e delle piste. Comportamento EMC dei Resistori, Condensatori ed Induttori. Induttori di modo comune ed a anelli di ferrite. Comportamento EMC dei dispositivi elettromeccanici. Comportamento EMC dei circuiti digitali. Protezione EMC degli interruttori.

Spettri di segnale [4 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Caratteristiche dello spettro del segnale temporizzatore. L'utilizzazione degli analizzatori di spettro in EMC. Misuratori di picco e quasi-picco.

Emissioni e suscettività irradiate [6 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Semplici modelli di emissione irradiata. Caratteristiche dell'emissione di modo differenziale e modo comune. Rimedi. Modelli di suscettività irradiata. Presenza di cavi schermati.

Emissioni e suscettività condotte [6 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Utilizzazione della LISN per la misura di emissioni condotte. Filtri di alimentazione. Emissione condotte degli alimentatori. Comportamento EMC dei trasformatori. Suscettività condotte.

Diafonia [6 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Introduzione. Linee di trasmissione a tre conduttori. Parametri delle linee. Calcolo esatto delle tensioni di diafonia. Modelli approssimati. Accoppiamenti induttivi, capacitivi e per impedenza di modo comune. Rimedi per la diafonia. Cavi schermati. Effetti dei ponticelli flessibili (*pig-tail*). Cavi intrecciati. Circuiti bilanciati.

Schermatura [6 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- I tre fenomeni che realizzano una schermatura. La schermatura d campi vicini e/o a bassa frequenza. La schermatura di campi magnetici. Effetti e controllo delle aperture.

Scariche elettrostatiche [6 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Origine delle scariche elettrostatiche. Modelli di scariche elettrostatiche. Effetti delle scariche elettrostatiche. Tecniche di controllo.

Progetto EMC dei sistemi [8 ore] di lezione e [2] di esercitazione

- Terre e masse di segnale. Collegamenti a massa. Percorsi di massa parassiti. Rimedi. Contenitori dei sistemi. Schede e loro interconnessioni. Disposizione interna dei cavi e collocazione dei connettori. Collocazione delle schede e dei sottosistemi. Progetto EMC dei circuiti stampati. Importanza delle griglie di massa nei circuiti stampati. Alimentatori e condensatori di disaccoppiamento.

## BIBLIOGRAFIA

C.R. Paul, "*Compatibilità Elettromagnetica*", Hoepli, Milano, 1995

## ESAME

Esame scritto e discussione dell'elaborato

## F0770 - L0770      Componenti e circuiti ottici

Anno: Periodo 4:2    Lezione: 8 (ore settimanali)

Docente: Renato Orta (Collab.: Guido Perrone)

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

### REQUISITI

*Campi elettromagnetici I (ELN)*

*Campi elettromagnetici I e II (TLC)*

*Trasmissione numerica (TLC)*

### PROGRAMMA

Introduzione: [2 ore]

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

*Analisi modale di guide dielettriche:* [8 ore]

- Guide d'onda a sezione trasversale non omogenea, formulazione di Marcuvitz-Schwinger. Determinazione delle autofunzioni modali a partire dalle componenti longitudinali. Proprietà di biortogonalità delle autofunzioni, calcolo dell'eccitazione dei modi

*Analisi di mezzi isotropi stratificati:* [6 ore]

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

*Diffrazione:* [12 ore]

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

*Ottica geometrica e applicazioni:* [10 ore]

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

*Guide dielettriche planari:* [16 ore]

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

*Risonatori e filtri:* [6 ore]

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

*Strutture periodiche: [6 ore]*

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

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

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

*Dielettrici anisotropi: [6 ore]*

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

*Fibre ottiche: [12 ore]*

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

*Accoppiamento modale: [4 ore]*

- Teoria dell'accoppiamento modale codirezionale e controdirezionale. Effetto elettroottico e acustoottico

## ESERCITAZIONI

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

## BIBLIOGRAFIA

Appunti del docente

**Testi ausiliari**

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

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

## ESAME

Orale.

## L0801-N0800                      Comunicazioni elettriche (gen)

Anno: Periodo 3:2    Lezione, Esercitazione: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Guido Albertengo

Lo scopo del corso è fornire agli allievi le metodologie di base per l'analisi dei sistemi di comunicazione basati sulla trasmissione di segnali elettrici, in presenza di rumore gaussiano bianco additivo. Vengono analizzati i sistemi di trasmissione numerica ed il sistema di codifica PCM di segnali analogici, e successivamente i sistemi analogici.

### REQUISITI

*Analisi matematica III (r) (ELN)*

*Elettronica applicata (ELN)*

*Calcolo delle probabilità (INF)*

### PROGRAMMA

- Metodi analitici per la rappresentazione del segnale elettrico e per la sua caratterizzazione. Sviluppo in serie di Fourier. Trasformata di Fourier. Spettro di potenza e di ampiezza
- Richiami sui processi casuali. Il rumore termico. Caratterizzazione di doppi bipoli rumorosi. Il canale hertziano
- Rappresentazione analitica del segnale numerico. Spettro di potenza del segnale numerico. La trasmissione in banda base del segnale numerico. Interferenza intersimbolica e primo criterio di Nyquist. Equalizzazione di canale. Calcolo della probabilità di errore in sistemi numerici in banda base. Prestazioni in presenza di rumore gaussiano additivo
- La trasmissione del segnale numerico in banda traslata. Modulazioni numeriche di ampiezza e fase.
- Il teorema del campionamento e sue applicazioni. Quantizzazione e rappresentazione dei campioni in forma numerica. Il sistema PCM e le sue prestazioni
- La trasmissione del segnale analogico in banda base ed in banda traslata. Modulazione d'ampiezza e modulazioni angolari. Prestazioni dei sistemi analogici in presenza di rumore

### BIBLIOGRAFIA

L.W.Couch II, "*Digital and Analog Communication Systems*", Maxwell McMillan International Editions (in inglese)

## F0802

## Comunicazioni Elettriche (spec)

Anno: Periodo 3:2 Lezione, Esercitazione: 6+4 (ore settimanali)

Docente: *da nominare*

Il corso si propone di illustrare i concetti fondamentali della teoria delle comunicazioni elettriche applicata a sistemi di trasmissione analogici e numerici al fine di proporre le nozioni fondamentali per il proseguimento degli studi nell'area delle telecomunicazioni. Nel corso delle lezioni sono esaminati gli aspetti teorici del funzionamento dei dispositivi e dei sistemi di comunicazione senza entrare nel merito della realizzazione *hardware*. Particolare attenzione è rivolta ai criteri di progetto attraverso la valutazione delle prestazioni indicando, per ciascun sistema, l'indice di prestazione più appropriato. I concetti teorici sono approfonditi attraverso esercizi svolti in aula e programmi al calcolatore in laboratorio per quanto riguarda alcuni aspetti di maggiore interesse.

## REQUISITI

*Teoria dei segnali*

## PROGRAMMA

- Introduzione ai sistemi di comunicazione analogici e numerici. Cenni sulla propagazione del segnale elettromagnetico. Bande di frequenza per trasmissioni radio terrestri e satellitari. Modelli di canale.
- Rumore termico. Sorgente di rumore e densità spettrale della potenza di rumore. Doppi bipoli rumorosi. Banda equivalente di rumore. Temperatura equivalente e cifra di rumore. Temperatura equivalente e cifra di rumore di una cascata di doppi bipoli rumorosi. Cifra di rumore di un attenuatore resistivo. Effetto del rumore sui ripetitori analogici. Ottimizzazione dei amplificatori rigenerativi in una linea di trasmissione.
- Richiami: segnali e processi casuali; serie e trasformata di Fourier; effetto delle discontinuità del segnale; trasformata di un segnale periodico; teorema del campionamento; campionamento ideale; campionamento non ideale a finestra e di tipo *sample & hold*; filtro sbiancante; spettri di potenza; segnale analitico e involuppo complesso.
- Quantizzazione. Rumore di granulosità e sovraccarico. Prestazioni del quantizzatore uniforme. Quantizzazione ottima: condizioni di Max-Lloyd. PCM, PCM uniforme e non uniforme (leggi *A e J*). Progetto del compressore ottimo. PCM differenziale.
- Teoria dell'informazione. Definizione di informazione. Entropia e sue proprietà. Entropia congiunta e condizionata. Mutua informazione. Teorema del *data processing*. Entropia di sorgente. Sorgenti prive di memoria. Tasso di entropia per sorgenti stazionarie. Teorema di Shannon (enunciato).
- Schemi di codifica di sorgente. Sequenze tipiche. Proprietà di equipartizione asintotica. Univoca decodificabilità e istantaneità di un di sorgente. Codifica di Huffman. Cenni sulla codifica di Lempel-Ziv.
- Canale discreto privo di memoria. Capacità di canale. Capacità di un canale simmetrico. Teorema di Shannon sulla codifica di canale. Entropia differenziale. Entropia differenziale massima. Capacità del canale gaussiano additivo.

- Modulazioni di ampiezza. Spettro di potenza. Demodulazione coerente e di involuppo. Modulazione a banda laterale singola (SSB). Prestazioni. Modulazione in banda vestigiale.
- Recupero della fase di portante mediante anello ad aggancio di fase (PLL). Multiplicazione in frequenza, segnale televisivo a colori.
- Modulazione di fase e di frequenza. Spettro di potenza per FM a banda stretta, con modulante sinusoidale e a banda larga. Regola di Carson.
- Modulatore di frequenza a banda stretta e a banda larga (VCO e metodo indiretto). Demodulatore a discriminatore e con PLL. Rapporto segnale/rumore dopo la demodulazione in frequenza. Filtri di enfasi/deenfasi. Stereofonia. Canalizzazioni tipiche per radiodiffusione. Ricevitore supereterodina.
- Modulazioni numeriche. PAM e PPM. Rappresentazione geometrica dei segnali (spazio dei segnali). Algoritmo di Gram-Schmidt. Energia media e potenza di una costellazione. Energia media dell'M-PAM, M-PPM (ortogonale e biortogonale). Effetto della traslazione di una costellazione sull'energia, energia minima, modulazione *simplex*.
- Ricezione di un segnale numerico: demodulazione + decisione. Ricevitore a correlazione. Ricevitore a filtri adattati e proprietà di un filtro adattato. Decisione ottima secondo il criterio della massima verosimiglianza. Applicazione al canale gaussiano additivo: decisione a distanza minima e regioni di corretta decisione.
- Prestazioni del PAM binario con soglia ottima di decisione in funzione delle probabilità a priori dei dati trasmessi. Limite superiore alla probabilità di errore per una costellazione: *union bound*. Probabilità di errore sul bit.
- Probabilità di errore sul simbolo per dati equiprobabili a priori: M-PAM, Modulazioni ortogonali e biortogonali. Prestazioni asintotiche e limite di Shannon. Confronto tra le modulazioni.
- Spettro di potenza di un segnale modulato numericamente: applicazione al PAM e ad alcune modulazioni con memoria.
- Calcolo delle prestazioni del PCM uniforme. Probabilità di errore di soglia.
- Trasmissione di segnali numerici su canali a banda limitata. Interferenza intersimbolica. Criterio di Nyquist. Diagramma ad occhio. Effetti degli errori di sincronismo. Risposta in frequenza a coseno rialzato. Segnali a risposta parziale.
- Cenni sulle tecniche di sincronizzazione temporale.
- Modulazioni in banda traslata. Modulazioni di fase (PSK) e prestazioni. Problema della ambiguità di fase e modulazione PSK differenziale. Modulazioni di ampiezza e fase in quadratura (QAM) e prestazioni. Recupero della fase della portante mediante PLL con tecnica *decision feedback*. Modulazioni di frequenza (FSK) e prestazioni.

## BIBLIOGRAFIA

- J.G.Proakis e M.Salehi, "Communication Systems Engineering", Prentice-Hall, 1994  
 T.M.Cover e J.A.Thomas, "Elements of Information Theory", New York: Wiley, 1991  
 L.W.Couch, "Modern Communication Systems", Prentice-Hall, 1995  
 S.Benedetto, E.Biglieri, V.Castellani, "Digital Transmission Theory", Prentice-Hall, 1987

**ESAME**

L'esame comprende una prova scritta sulla base delle esercitazioni e una prova orale facoltativa.

Anno: Periodo 3:2 Lezione, Esercitazione: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Giorgio Taricco

Il corso si propone di illustrare i concetti fondamentali della teoria delle comunicazioni elettriche applicata a sistemi di trasmissione analogici e numerici al fine di proporre le nozioni fondamentali per il proseguimento degli studi nell'area delle telecomunicazioni. Nel corso delle lezioni sono esaminati gli aspetti teorici del funzionamento dei dispositivi e dei sistemi di comunicazione senza entrare nel merito della realizzazione *hardware*. Particolare attenzione è rivolta ai criteri di progetto attraverso la valutazione delle prestazioni indicando, per ciascun sistema, l'indice di prestazione più appropriato. I concetti teorici sono approfonditi attraverso esercizi svolti in aula e programmi al calcolatore in laboratorio per quanto riguarda alcuni aspetti di maggiore interesse.

## REQUISITI

*Teoria dei segnali*

## PROGRAMMA

Introduzione ai sistemi di comunicazione analogici e numerici. Cenni sulla propagazione del segnale elettromagnetico. Bande di frequenza per trasmissioni radio terrestri e satellitari. Modelli di canale.

Rumore termico. Sorgente di rumore e densità spettrale della potenza di rumore. Doppi bipoli rumorosi. Banda equivalente di rumore. Temperatura equivalente e cifra di rumore. Temperatura equivalente e cifra di rumore di una cascata di doppi bipoli rumorosi. Cifra di rumore di un attenuatore resistivo. Effetto del rumore sui ripetitori analogici. Ottimizzazione dei amplificatori rigenerativi in una linea di trasmissione.

Richiami: segnali e processi casuali; serie e trasformata di Fourier; effetto delle discontinuità del segnale; trasformata di un segnale periodico; teorema del campionamento; campionamento ideale; campionamento non ideale a finestra e di tipo *sample & hold*; filtro sbiancante; spettri di potenza; segnale analitico e involuppo complesso.

Quantizzazione. Rumore di granulosità e sovraccarico. Prestazioni del quantizzatore uniforme. Quantizzazione ottima: condizioni di Max-Lloyd. PCM, PCM uniforme e non uniforme (leggi  $A e[]$ ). Progetto del compressore ottimo. PCM differenziale.

Teoria dell'informazione. Definizione di informazione. Entropia e sue proprietà. Entropia congiunta e condizionata. Mutua informazione. Teorema del *data processing*. Entropia di sorgente. Sorgenti prive di memoria. Tasso di entropia per sorgenti stazionarie. Teorema di Shannon (enunciato).

Schemi di codifica di sorgente. Sequenze tipiche. Proprietà di equipartizione asintotica. Univoca decodificabilità e istantaneità di un di sorgente. Codifica di Huffman. Cenni sulla codifica di Lempel-Ziv.

Canale discreto privo di memoria. Capacità di canale. Capacità di un canale simmetrico. Teorema di Shannon sulla codifica di canale. Entropia differenziale. Entropia differenziale massima. Capacità del canale gaussiano additivo.

Modulazioni di ampiezza. Spettro di potenza. Demodulazione coerente e di involuppo. Modulazione a banda laterale singola (SSB). Prestazioni. Modulazione in banda vesti-

giale. Recupero della fase di portante mediante anello ad aggancio di fase (PLL). Moltiplicazione in frequenza, segnale televisivo a colori.

Modulazione di fase e di frequenza. Spettro di potenza per FM a banda stretta, con modulante sinusoidale e a banda larga. Regola di Carson.

Modulatore di frequenza a banda stretta e a banda larga (VCO e metodo indiretto). Demodulatore a discriminatore e con PLL. Rapporto segnale/rumore dopo la demodulazione in frequenza. Filtri di enfasi/deenfasi. Stereofonia. Canalizzazioni tipiche per radio-diffusione. Ricevitore supereterodina.

Modulazioni numeriche. PAM e PPM. Rappresentazione geometrica dei segnali (spazio dei segnali). Algoritmo di Gram-Schmidt. Energia media e potenza di una costellazione. Energia media dell'M-PAM, M-PPM (ortogonale e biortogonale). Effetto della traslazione di una costellazione sull'energia, energia minima, modulazione *simplex*.

Ricezione di un segnale numerico: demodulazione + decisione. Ricevitore a correlazione. Ricevitore a filtri adattati e proprietà di un filtro adattato. Decisione ottima secondo il criterio della massima verosimiglianza. Applicazione al canale gaussiano additivo: decisione a distanza minima e regioni di corretta decisione.

Prestazioni del PAM binario con soglia ottima di decisione in funzione delle probabilità a priori dei dati trasmessi. Limite superiore alla probabilità di errore per una costellazione: *union bound*. Probabilità di errore sul bit.

Probabilità di errore sul simbolo per dati equiprobabili a priori: M-PAM, Modulazioni ortogonali e biortogonali. Prestazioni asintotiche e limite di Shannon. Confronto tra le modulazioni.

Spettro di potenza di un segnale modulato numericamente: applicazione al PAM e ad alcune modulazioni con memoria.

Calcolo delle prestazioni del PCM uniforme. Probabilità di errore di soglia.

Trasmissione di segnali numerici su canali a banda limitata. Interferenza intersimbolica. Criterio di Nyquist. Diagramma ad occhio. Effetti degli errori di sincronismo. Risposta in frequenza a coseno rialzato. Segnali a risposta parziale.

Cenni sulle tecniche di sincronizzazione temporale.

Modulazioni in banda traslata. Modulazioni di fase (PSK) e prestazioni. Problema della ambiguità di fase e modulazione PSK differenziale. Modulazioni di ampiezza e fase in quadratura (QAM) e prestazioni. Recupero della fase della portante mediante PLL con tecnica *decision feedback*. Modulazioni di frequenza (FSK) e prestazioni.

## BIBLIOGRAFIA

- J.G.Proakis e M.Salehi, "Communication Systems Engineering", Prentice-Hall, 1994  
 T.M.Cover e J.A.Thomas, "Elements of Information Theory", New York:Wiley, 1991  
 L.W.Couch, "Modern Communication Systems", Prentice-Hall, 1995  
 S.Benedetto, E.Biglieri, V.Castellani, "Digital Transmission Theory", Prentice-Hall, 1987

## ESAME

L'esame comprende una prova scritta sulla base del esercitazioni e una prova orale facoltativa.

**F0810-L0810****Comunicazioni ottiche**

Anno: Periodo 4,5:2 Lezione ed Esercitazione: 8 (ore settimanali)

Docente: Sergio Benedetto

Il corso è dedicato all'analisi e al progetto dei sistemi di comunicazione che impiegano la fibra ottica come mezzo trasmissivo. I prerequisiti necessari riguardanti le caratteristiche fisiche dei principali componenti del sistema verranno forniti nella prima parte del corso.

**REQUISITI**

*Comunicazioni Elettriche*

**PROGRAMMA**

- Caratteristiche fisiche e sistemistiche dei principali componenti di un sistema di trasmissione in fibra ottica: propagazione di segnali di informazione nelle fibre ottiche, i diodi emettitori di luce, LED e laser, i diodi fotorivelatori, PIN e fotodiode a valanga, gli amplificatori ottici.
- I limiti indotti dalla fibra ai sistemi di trasmissione: l'attenuazione e la dispersione.
- La caratterizzazione dei ricevitori numerici dei sistemi a modulazione di intensità e rivelazione diretta: il rumore granulare e termico, la figura di merito del ricevitore e la sua sensibilità.
- Le prestazioni dei ricevitori: il rapporto segnale-rumore e la probabilità di errore.
- I sistemi di trasmissione con amplificazione ottica.
- Cenni ai sistemi di trasmissione e ricezione coerenti.

**ESERCITAZIONI**

A conclusione di ogni argomento significativo, verranno proposti agli studenti esercizi articolati miranti al progetto di sottosistemi o sistemi, che richiederanno più esercitazioni e lavoro personale svolto al LAIB e/o a casa.

**BIBLIOGRAFIA**

L. Kazovsky, S. Benedetto, A. Willner, "*Optica Fiber Communication Systems*", Artech House, 1996.

**ESAME**

La valutazione finale del corso si basa su:

- un compito scritto svolto verso la metà del corso
- un lavoro personale ("tesina") consistente nella lettura, comprensione, utilizzazione di articoli su argomenti specifici, al fine di analizzare o progettare un particolare sistema o sottosistema. Il lavoro darà luogo a una relazione che sarà valutata dal docente, con eventuale presentazione ai colleghi studenti mediante lucidi.

**L0841****Controlli Automatici (Generale)**

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione: 6+4 (ore settimanali)

Docente: Enrico Canuto

Gli obiettivi dell'insegnamento, rivolto ad allievi non specialisti, è di fornire sia una formazione di base nel campo dei controlli automatici, ovvero quelle conoscenze teoriche utili anche a chi non dovrà mai occuparsi di problemi specifici, sia una formazione professionale, come possibile *trait d'union* verso gli specialisti del controllo.

La formazione di base avrà come scopo la comprensione dei seguenti concetti:

- il concetto di stato e il principio di causalità, alla base della nozione di sistema dinamico;
- il principio della catena chiusa, come metodo generale di governo di sistemi in presenza di incertezza;
- i problemi di controllabilità, osservabilità e stabilità, insiti in ogni operazione di catena chiusa.

Per quanto riguarda gli aspetti professionali, verranno accennati i seguenti argomenti:

- la specificazione dei requisiti funzionali di un sistema di controllo
- l'architettura tipica di un moderno sistema di controllo.

**REQUISITI**

Il corso presuppone le conoscenze di base dei fenomeni e dispositivi trattati dalla Fisica Sperimentale e Applicata (meccanica, elettrotecnica, elettronica, termodinamica, dinamica dei fluidi), necessarie per la loro formulazione matematica. Si presuppone pure un'adeguata conoscenza dei metodi di analisi e trattamento dei segnali, ivi compresi quelli aleatori.

**PROGRAMMA**

*Concetti introduttivi ed esempi*

*La descrizione matematica di sistemi dinamici:*

- fondamenti delle equazioni di stato discrete e continue
- elementi dinamici della fisica sperimentale
- soluzione di equazioni di stato lineari e stabilità
- equazioni di stato a dati campionati

*I problemi fondamentali del controllo automatico*

- controllabilità e sintesi dei comandi
- sintesi dei comandi ad anello chiuso
- osservabilità e stima degli stati

*I moderni sistemi di controllo automatico*

Classi di problemi e requisiti :

- schema funzionale di un controllo digitale
- schema costruttivo di un controllo digitale
- Un caso tipico: l'asservimento di posizione ad un grado di libertà.

## LABORATORIO

Le esercitazioni di laboratorio saranno svolte di regola unicamente su elaboratore numerico. La loro modalità verrà stabilita di anno in anno; tuttavia si tenderà a favorirne lo sviluppo sia presso i Laboratori Didattici del Politecnico sia su strumenti personali dell'allievo.

L'allievo dovrà dimensionare, programmare su elaboratore numerico e provare le funzioni di controllo di un sistema automatico molto diffuso, quale l'asservimento di posizione ad un grado di libertà. A tale scopo l'allievo avrà a disposizione il simulatore numerico dell'impianto da asservire, attorno al quale dovrà realizzare le funzioni di controllo.

## BIBLIOGRAFIA

Testo di guida per il laboratorio, cui è allegato un dischetto contenente il simulatore numerico e i programmi di prova:

E. Canuto, *"Asservimento digitale di posizione ad un grado di libertà"*, CELID (Torino), 1996.

Testi in inglese, in cui sono trattati gli argomenti delle lezioni.

G.F. Franklin et alii, *"Digital control of dynamic systems"*, Addison, 1990

G.F. Franklin et alii, *"Feedback control of dynamic systems"*, Addison, 1994

## ESAME

Le seguenti modalità sono da intendersi di massima; di anno in anno potranno essere adeguate alle esigenze del corso e in particolare modificate per gli allievi che hanno completato le prove di laboratorio. L'allievo potrà scegliere se sostenere immediatamente la prova orale estesa o se farla precedere da una prova scritta preliminare della durata di 3 ore. Di norma verranno preparate almeno tre prove scritte all'anno (a febbraio, a luglio e a settembre). La prova orale è di due tipi:

- prova orale sintetica, da sostenersi da tutti coloro che sono stati giudicati sufficienti alla prova scritta; essa verrà sostenuta in concomitanza con la correzione della prova scritta e tenderà ad approfondire i temi proposti in tale prova;
- prova orale estesa, da sostenersi a volontà da coloro che sono stati giudicati sufficienti alla prova orale sintetica o insufficienti alla prova scritta; verterà su tutto il programma del corso.

## N0841

## Controlli automatici (gen) (INF)

Anno: Periodo 3:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 6+4+2 (ore settimanali)

Docente: Giovanni Fiorio

L'insegnamento riguarda sia l'analisi di sistemi fisici di varia natura (elettrica, meccanica, termica, idraulica, pneumatica, ecc.), con lo scopo di determinarne le leggi di funzionamento in regime transitorio, sia la struttura dei sistemi di controllo, sia le proprietà richieste per i sistemi dotati di controllo, sia le procedure per il progetto degli organi di controllo di sistemi dinamici che garantisca il verificarsi delle proprietà richieste.

## REQUISITI

Le nozioni propedeutiche necessarie per seguire il corso e prepararne l'esame sono quelle di *Elettrotecnica*, di *Geometria* e di *Matematica*, soprattutto per quanto riguarda l'uso di vettori, matrici e trasformate di Laplace.

## PROGRAMMA

- Il problema del controllo automatico. Concetto di sistema. Ingressi (comandi e disturbi), uscite (primarie e secondarie). Enunciato del problema in forma operativa. Schema generale di un sistema dotato di controllo. Proprietà degli elementi componenti. Elenco delle competenze richieste ad un esperto di controlli automatici
- La costruzione di modelli matematici di sistemi fisici. Rappresentazione grafica dei modelli schemi a blocchi e loro regole di elaborazione. Modelli matematici approssimati per sistemi elettrici, meccanici, elettromeccanici, termici, idraulici e pneumatici
- Elementi di analisi di segnali e di sistemi. Risposte nel dominio del tempo e della frequenza. Cenni su processi stocastici e dinamica statistica. Proprietà strutturali
- L'incertezza nei modelli di sistemi e di segnali. La costruzione di modelli dinamici approssimati come lineari, a parametri concentrati ed invarianti nel tempo, a partire dalle leggi fisiche dei corrispondenti sistemi. Errori di modello in termini di incertezza dei rispettivi parametri. Sensitività
- Dinamica dei sistemi monovariabili (un comando, una uscita con retroazione. Criteri di Routh e di Nyquist. Costruzione dei diagrammi di Nyquist. Margini di stabilità. Costruzione dei luoghi delle radici. Proprietà dei luoghi delle radici
- Specifiche per la qualificazione dei sistemi di controllo. Enunciato del problema del controllo automatico in forma matematica. Specifiche sulla rapidità di risposta e sulla stabilità relativa. Specifiche sulla precisione a regime stazionario. Specifiche sull'attenuazione dei disturbi e della sensitività. Specifiche sulla sicurezza
- Strutture particolari dei sistemi di controllo monovariabili, e loro proprietà ai fini del soddisfacimento delle specifiche. Compensazione in cascata ed in retroazione; retroazione dalle variabili di stato e da generiche uscite secondarie; filtraggio del riferimento e filtraggio (previa misura dei disturbi. Strutture miste

- Progetto degli organi di controllo per sistemi monovariabili. progetto di compensatori in cascata sulla base di specifiche assegnate, con particolare riguardo ai compensatori di larga diffusione industriale. Progetto di compensatori di forma prefissata relativi ad altre strutture. Orientamenti per la scelta della forma degli organi di controllo. Sintesi diretta con uno o due gradi di libertà nella forma dei blocchi componenti
- Introduzione allo studio del controllo digitale. Componenti digitali dei sistemi di controllo. I sistemi a tempo discreto. La trasformata zeta e le sue principali proprietà. Le funzioni di trasferimento impulsive. Cenni al progetto di sistemi di controllo digitali

## ESERCITAZIONI

Alle esercitazioni in aula è dedicata una quaterna di ore consecutive ogni settimana. Le settimane dedicate alle esercitazioni sono circa una dozzina, ed ogni esercitazione riguarda l'argomento trattato a lezione la settimana precedente. A ciascuno dei nove capitoli del programma è dedicata una esercitazione settimanale, salvo a quelli di maggior estensione, cui sono dedicate due esercitazioni successive. Il testo di riferimento per le esercitazioni ne riporta 13, per 13 settimane successive. Per ogni esercitazione sono presentati una decina di problemi da risolvere. Nella seconda parte del testo è riportata la risoluzione completa di alcuni di questi problemi.

## LABORATORIO

Vedi "modalità di esame".

## BIBLIOGRAFIA

Per le lezioni:

G.Fiorio, "*Controlli automatici con elementi di teoria dei sistemi*", CLUT, 1992

Per le esercitazioni:

G.Fiorio ed S.Malan, "*Esercitazioni di controlli automatici*", CLUT, 1990

## ESAME

L'esame consiste di due parti, entrambe orali la prima riguarda la discussione di una tesina, preparata durante il corso con l'uso dei mezzi del Laboratorio di Informatica di Base; la seconda riguarda tutto il programma e delle esercitazioni.

## L0842 - N0842      Controlli automatici (spec)

Anno:Periodo 4:2    Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 6+4+2 (Ore Settimanali)

Docente: Giuseppe Menga

Il corso affronta lo studio della teoria dei servomeccanismi, ed ha come obiettivo portare gli allievi al progetto di sistemi di controllo in catena chiusa ad un ingresso ed un'uscita con tecniche classiche, tecniche e moderne di sintesi diretta nel dominio del tempo.

### REQUISITI

Le basi della teoria dei sistemi ed in particolare i principi della fisica per poter sviluppare modelli di sistemi dinamici in variabili di stato ed in forma di funzioni di trasferimento a partire da componenti elettrici (motori elettrici, circuiti elettrici), elettronici (amplificatori operazionali), meccanici (corpi rigidi in moto di traslazione e rotazione), termici (assorbimento e scambio del calore).

### PROGRAMMA

#### Modellistica [4 settimane]

- Sistemi dinamici a tempo continuo ed a tempo discreto nelle rappresentazioni in variabili di stato e funzione di trasferimento
- La struttura di un sistema di controllo in catena chiusa: funzioni di trasferimento caratteristiche e proprietà fondamentali, relazioni fra rappresentazioni di controllo con reazione sull'uscita; reazioni sugli stati, reazione mediante l'uso del ricostruttore degli stati
- Controllo mediante calcolatore: la presenza del campionamento in un anello di controllo, relazioni fra segnali continui e segnali a dati campionati; relazioni fra trasformate di Laplace e trasformate Z.

#### Analisi dell'anello di controreazione [3 settimane]

- Le specifiche di un sistema di controllo in catena chiusa: specifiche di anello e specifiche riferimento/uscita
- Analisi di stabilità dell'anello di controllo nel dominio della frequenza: diagrammi di Nyquist e di Nichols, criterio di Nyquist
- Controllo robusto mediante norma  $H^\infty$ : condizione per prestazioni e stabilità robusta.

#### Progetto di controlli digitali [4 settimane]

- Un grado di libertà: l'uso di reti di compensazione elementari (derivativa ed integrativa) e la sintesi diretta per soddisfare in modo parziale le specifiche di controllo
- Due gradi di libertà: limiti del progetto ad un grado di libertà, soddisfacimento contemporaneo di specifiche di anello e riferimento/uscita con tecniche classiche e mediante il ricostruttore dello stato
- Progetto di compensatori digitali
- Progetto con uscite multiple

## ESERCITAZIONI

Sistemi dinamici lineari a tempo continuo e tempo discreto

1. costruzione dei modelli in variabili di stato, ed in forma di funzione di trasferimento
2. risposta del sistema ad ingressi caratteristici
3. rappresentazione di sistemi dinamici nel dominio della frequenza

Analisi di stabilità

1. tracciamento di diagrammi di Nyquist, Nichols e Bode in modo comparato ed verifica della stabilità dell'anello di controllo
2. calcolo delle funzioni di peso delle norme  $H_\infty$  per prestazioni e robustezze

Progetto

1. uso di tecniche di sintesi diretta del controllo per la realizzazione di F. di T. in catena chiusa che soddisfano specifiche riferimento/uscita
2. uso delle reti di compensazione elementari per soddisfare le specifiche d'anello
3. progetto a due gradi di libertà per integrare specifiche ingresso/uscita e specifiche di anello

## LABORATORIO

Modelli di sistemi continui (sala terminali)

- uso di Matlab per rappresentare e calcolare la risposta di sistemi dinamici;
- esempi di sistemi dinamici in catena aperta e chiusa, con valutazione della risposta;
- confronti fra le risposte di sistemi continui e sistemi a dati campionati.

Progetto di un sistema di controllo a dati campionati (Ladispe)

- analisi del modello, progetto del controllo digitale, realizzazione e collaudo sperimentale su uno degli esempi disponibili in laboratorio.

## BIBLIOGRAFIA

Alberto Isidori, *"Sistemi di Controllo"*, Siderea

Giovanni Fiorio, *"Controlli Automatici"*, Clut

Giuseppe Menga, *"Controlli Automatici per ingegneria elettronica ed informatica - ipertesto delle lezioni"*

## ESAME

Le esperienze in sala calcolatori ed in laboratorio sperimentale sono obbligatorie. La loro documentazione sotto forma di una relazione scritta è requisito per il superamento dell'esame.

Durante il corso verranno effettuate tre verifiche, (modellistica, analisi di stabilità dell'anello di controllo e progetto) il superamento delle quali porta al superamento dell'esame.

Agli appelli l'esame sarà costituito da una prova scritta di 4 ore su un progetto completo (modellistica, analisi delle specifiche e progetto) di un sistema fisico di controllo, e da un orale. Sulla base dei risultati dello scritto i voti compresi fra 19 e 28 sono esonerati dall'orale, i voti inferiori al 17 non superano l'esame.

## L0850 - N0850      Controllo dei processi

Anno: Periodo 5:1      Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+2+2 (ore settimanali)  
 Docente: Donato Carlucci

Il corso si propone di illustrare le principali metodologie di progetto del controllo dei processi con particolare riferimento ai processi industriali. Nel corso, vengono presentati i metodi di sintesi del controllo con particolare enfasi per quelli che si prestano per una progettazione interattiva, assistita dal calcolatore. Ampio spazio viene dedicato alle moderne teorie di controllo per sistemi reali, cioè per sistemi in presenza di incertezze dovute a conoscenze sempre imperfette sia del sistema fisico da controllare sia dell'ambiente in cui esso opera. A questo scopo, la teoria rigorosa del controllo viene applicata a numerosi esempi di applicazione in prevalenza di carattere industriale dove il progetto viene sviluppato secondo teoria e nei minimi dettagli: dalla scelta dei trasduttori e degli attuatori, alla modellistica del processo, alla individuazione degli aspetti energetici dominanti, al progetto propriamente detto, fino alla valutazione delle prestazioni ed al bilancio tra costi e benefici.

### REQUISITI

*Controlli Automatici, Teoria dei Sistemi.*

### PROGRAMMA

Il programma comprende i seguenti punti principali

- Fondamenti di Teoria del Controllo Ottimale per Sistemi Lineari con funzionale di costo quadratico e disturbi a statistica gaussiana. Deduzione dello schema generale del controllo basato sull'uso di uno stimatore dello stato e del controllore. Generalizzazione dello schema per controlli basati su criteri di soddisfacimento di specifiche diverse da quelle ottimali
- Analisi di sistemi lineari multivariabili nel dominio della frequenza. Principali proprietà della matrice di trasferimento, zeri e poli: definizioni e significato fisico.
- Diverse espressioni della matrice di trasferimento in catena chiusa per i sistemi multivariabili. Matrice di Trasferimento d'anello
- Stabilità di un sistema reazionato e generalizzazione del teorema di Nyquist ai sistemi multivariabili
- Tecniche di progetto del controllo nel dominio della frequenza per sistemi multivariabili
- Teoria del piazzamento dei poli in catena chiusa per sistemi multivariabili. Criteri generali di esistenza della soluzione
- Algoritmi per il piazzamento dei poli mediante reazione sullo stato del sistema
- Uso di reazione sull'uscita e progetto assistito dal calcolatore del compensatore dinamico
- Le strutture di controllo più diffuse nel campo industriale: filtri, compensatore PID. Trattamento dell'incertezza e tecniche di progetto del controllo per sistemi incerti
- Valutazione dell'affidabilità di un sistema di controllo: criteri generali e metodi di simulazione

- Validazione del progetto, valutazione di costi (*hardware e software*) e dei benefici

## ESERCITAZIONI

1. Modellistica dettagliata di sistemi elettromeccanici industriali, satelliti artificiali, impianti termoelettrici
2. Uso di modelli semplificati per il progetto del controllo. Applicazioni delle differenti tecniche di progetto. Trattamento dell'incertezza tra sistema reale e modello usato per il progetto
3. Trattazione dettagliata di numerosi esempi di progetto di sistemi reali

## LABORATORIO

1. Progetto del controllo di un sistema elettromeccanico e simulazione al calcolatore delle prestazioni del sistema
2. Progetto del controllo di velocità angolare e di orientamento di un satellite, simulazione al calcolatore e valutazione della precisione sull'orientamento
3. Progetto del controllo di un sistema di prova per motori a combustione interna. Simulazione al calcolatore
4. Progetto del controllo di un robot. Simulazione al calcolatore
5. Localizzazione e controllo mediante semafori stradali di un veicolo viaggiante su una rete viaria conosciuta. Simulazione al calcolatore

## BIBLIOGRAFIA

Sono a disposizione appunti del corso, lezioni ed esercitazioni, scritti dal docente e forniti su supporto magnetico.

### Testi ausiliari

1. Tibaldi, "Note Introduttive a MATLAB e Control System Toolbox", Progetto Leonardo, Bologna
2. Desoer, Vidyasagar, "Feedback Systems: input-output properties", Academic Press
3. Singh, Tidli, "Systems: decomposition", Optimization and Control

## ESAME

L'esame consiste in una prova scritta ed in una prova orale nella quale viene fra l'altro richiesta la discussione dei progetti sviluppati durante il corso.

## L0870 - N0870      Controllo digitale

Anno: Periodo 5:2      Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Maurizio Vallauri

Il corso intende presentare i fondamenti teorici e le principali metodologie di analisi e sintesi dei sistemi di controllo digitali. Si articola secondo i seguenti capitoli: descrizione matematica dei segnali e sistemi campionati; stabilità dei sistemi campionati; controllo "dead-beat" per sistemi SISO; sistemi campionati lineari nello spazio di stato e metodi di progetto del regolatore; regolazioni adattive: regolatori adattivi con modello di riferimento (MRAS), regolatori adattivi con modello di identificazione (MIAS).

### REQUISITI

*Teoria dei sistemi, Controlli automatici (gen).*

### PROGRAMMA

- Richiami di concetti fondamentali di teoria dei sistemi. Sistemi tempo-discreti e loro rappresentazione I/O e nello spazio di stato. Descrizione matematica di segnali e sistemi campionati
- La trasformazione  $z$ . Definizioni e principali regole di trasformazione diretta e inversa con applicazioni
- Descrizione di sistemi campionati mediante la trasformazione  $z$ . Struttura e diagrammi a blocchi di regolazioni campionate. La funzione di trasferimento  $z$ . Descrizione di una regolazione campionata mediante la trasformazione  $z$
- Stabilità. Definizione di stabilità. Criteri fondamentali di stabilità. Stabilità fra gli istanti di campionamento. Criteri algebrici di stabilità
- Progetto per regolazione con tempo di assestamento finito ("dead-beat"). Fondamenti nel dominio tempo. Derivazione e soluzione delle equazioni di sintesi. Calcolo del regolatore
- Sistemi campionati lineari nello spazio di stato. Le equazioni di stato di un sistema campionato. Soluzione della equazione di stato alle differenze, omogenea; stabilità dei sistemi campionati nello spazio di stato. Applicazione della trasformazione  $z$  alle equazioni di stato di un sistema campionato. Struttura di regolazioni campionate nello spazio di stato. Progetto per tempo di assestamento finito e controllabilità. Progetto mediante assegnazione di autovalori (poli). Regolazione modale. Osservatori dello stato e osservabilità. Il teorema di separazione
- Regolazioni adattive. Regolatori adattivi con modello di riferimento (MRAS): ottimizzazione locale di parametri; progetto di Ljapunov; definizioni, concetti fondamentali di iperstabilità e progetto relativo. Regolatori adattivi con modello di identificazione (MIAS): identificazione "on-line" di processi dinamici e segnali stocastici, e dell'anello di regolazione chiuso. Regolatori adattivi nei parametri

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nella discussione, in aula, di problemi di carattere applicativo riguardanti gli argomenti del corso, risolti o illustrati dopo essere stati assegnati per

lo svolgimento a casa, e altresì nella esposizione di argomenti di carattere matematico complementari alla materia del corso, quali taluni capitoli della teoria delle matrici.

## BIBLIOGRAFIA

All'inizio del corso viene messa a disposizione degli allievi una copia riproducibile di note manoscritte che coprono quasi integralmente il programma

### **Testi ausiliari**

Per eventuali approfondimenti possono essere utilmente consultati:

O. Föllinger, "*Lineare Abtastsysteme*", 4. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, München-Wien, 1990

R. Isermann, "*Digitale Regelsysteme*", 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1987.

V. Strejc, "*State Space Theory of Discrete Linear Control*", John Wiley & Sons, New York, 1981

M. Athans et al., "*Systems, Networks, and Computation. Multivariable Methods*", McGraw-Hill Book Co., New York, 1974

Altri riferimenti bibliografici vengono forniti, quando del caso, durante il corso.

## ESAME

Gli esami consistono in una prova scritta, un tema di carattere teorico da sviluppare senza materiale di riferimento e, immediatamente dopo, uno o più problemi che possono essere svolti con libera consultazione di libri, note ecc.

Un eventuale successivo accertamento orale se il candidato lo desidera

## L1441

## Dispositivi elettronici I

Anno: Periodo 2:2 Lezione, Esercitazione: 6+4 (ore settimanali)

Docenti: (I corso) Carlo Naldi  
(II corso) G. Piccinini

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.

## REQUISITI

*Fisica II*

## PROGRAMMA

Parte prima*Cenni di fisica dei solidi:*

- Equazione di Schrödinger barriera di potenziale: effetto tunnel; struttura cristallina, legami covalenti; semiconduttori IV e III-V gruppo [9 + 4]

*Fenomeni di trasporto:*

- 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. [9 + 6]

*Materiali magnetici:*

- 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. [6 + 2]

*Materiali dielettrici:*

- 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 [6 + 0]

*Tecnologia dei circuiti integrati ibridi:*

- 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 [6 + 0]

Parte seconda*Teoria elementare dei semiconduttori:*

- Semiconduttore intrinseco e semiconduttori drogati; fenomeno di diffusione. Equazione di continuità [6 + 10]

*Tecnologia dei circuiti integrati:*

- Circuiti integrati ibridi: substrati, componenti passivi. Tecnologia planare: fasi del processo. Crescita del monocristallo (metodo Czochralski). Ossidazione, litografia, attacco chimico. Impiantazione ionica, diffusione e solubilità dei droganti. Processi CVD: crescita epitassiale, deposizione di polisilicio, di ossidi e di strati metallici. Cenni sulla tecnologia dell’arseniuro di gallio. Interconnessioni, packaging e testing. Resistori integrati [6 + 4]

*Giunzione metallo semiconduttore:*

- Barriera di Schottky; capacità differenziale. Tecnica di misura C(V) dei profili di drogaggio; diodo Schottky e contatti ohmici. [3 + 4]

*Giunzione p-n:*

- Giunzione all’equilibrio, capacità di transizione; correnti nel diodo; diodo reale: effetto della temperatura. Tecnologia dei diodi integrati: isole, defocalizzazione della corrente, strato sepolto. Comportamento dinamico del diodo: modello a controllo di carica. Fenomeni di rottura: effetto Zener, effetto valanga. Diodi Zener e diodi tunnel [5 + 7]

*Transistore a effetto di campo a giunzione [2 + 0]**Transistore bipolare:*

- Effetto transistore; regioni di funzionamento; modelli di Ebers-Moll e modelli SPICE. Effetto *Early*. Tempi di commutazione, modello a controllo di carica. Effetto della resistenza distribuita di base. *Breakdown* a valanga e perforazione diretta.
- Tecnologia dei transistori integrati: transistore planare npn; transistore parassita, transistori pnp. Modello di processo; transistore Schottky e isolamento a ossido [7 + 4]

*MOSFET:*

- Diodo MIS: inversione di popolazione, tensione di soglia di diodi ideali e reali. Modelli analitici dei MOS. MOS ad arricchimento e a svuotamento. Tecniche per il controllo della tensione di soglia. Tecnologia *metal gate* e *silicon-gate* (NMOS) [6 + 2]

*Tecnologia VLSI. Ciclo di progetto dei circuiti integrati:*

- Livelli di astrazione. Metodologie di progetto VLSI: full custom, *standard cell*, gate array. Tecniche di scalamento e limiti di integrazione. Interfaccia progettista-fabbrica: regole di progetto. Invertitori [4 + 2]

*Uso del simulatore di componenti SPICE presso il LAIB*

## BIBLIOGRAFIA

Naldi, Piccinini, “*Dispositivi Elettronici*”, CELID, 1995

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

"Tabelle e grafici dei materiali e componenti per l'Elettronica", CELID, 1995

#### **Testi ausiliari**

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

R.S. Muller, T.I. Kamins, "Dispositivi Elettronici" 2 ediz., Bollati-Boringhieri, Torino, 1993

#### **ESAME**

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

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

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

**E 144 5****Dispositivi elettronici 2 +Elettronica dello stato solido**

Anno:periodo 5:2    Lezioni, esercitazioni, laboratori: 8 (ore settimanali)  
60 (ore, nell'intero periodo)

Docente: Carlo Naldi

**Dispositivi elettronici 2**

Il corso segue il corso di Dispositivi 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, pseudomorfici; 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.

### **Elettronica dello stato solido**

Anno: periodo 5:2 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 nel 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.

**N7060****Economia dei Sistemi industriali**

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

78+26 (annuali)

Docente: Luigi Buzzacchi

Il corso, si propone nella prima parte di descrivere e modellizzare il comportamento strategico dei soggetti economici attraverso gli strumenti metodologici propri della teoria dei giochi e dell'economia dell'informazione. La seconda parte è dedicata all'approfondimento delle moderne teorie dell'impresa finalizzate allo studio dell'organizzazione industriale, dei processi di diffusione delle innovazioni tecnologiche e di alcuni elementi di politica economica. Vengono considerati come propedeutici gli argomenti trattati nei corsi di Economia Politica e di Economia ed Organizzazione Aziendale I e II.

**PROGRAMMA**

- Teoria dei giochi ed informazione
- Introduzione alla teoria dei giochi: concetti di equilibrio e struttura informativa
- Strategie miste e continue
- Giochi dinamici con simmetria informativa e con asimmetria informativa
- Asimmetrie informative *ex-ante* ed *ex-post*: problemi di azzardo morale e selezione avversa con alcune applicazioni ai mercati assicurativi
- Contratti ottimi, segnalazione e *screening* ed i modelli principale-agente
- Teoria dell'impresa ed organizzazione industriale
- Organizzazione economica ed efficienza. L'approccio dell'economia transazionale
- I confini dell'impresa: struttura interna e relazioni verticali
- Analisi dei mercati oligopolistici: politiche di prezzo, strategie di differenziazione di prodotto e di localizzazione
- Economia del progresso tecnico e diffusione delle innovazioni tecnologiche
- Elementi di politica industriale

**ESERCITAZIONI**

Applicazione dei metodi quantitativi alla soluzione di problemi economici

**BIBLIOGRAFIA**Rasmusen E., "*Games and Information*", Basil Blackwell, 1989.Milgrom P. e Roberts J., "*Economics, Organization and Management*", Prentice Hall, 1992.Tirole J., "*The Theory of Industrial Organization*", MIT Press, 1988.

# F1500 - L1500 - N1500 Economia e gestione dei servizi

Anno: periodo 4:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Luigi Buzzacchi

Il corso si propone di analizzare alcune situazioni tipiche in cui si verificano fallimenti del mercato in assenza di interventi appropriati. Nella prima parte vengono toccate tematiche proprie dell'economia pubblica (beni pubblici, esternalità, problema del *free rider*, distorsioni causate da tassazioni di beni particolari). Nella seconda parte si considera la regolamentazione di imprese pubbliche e di imprese private che forniscono servizi di pubblica utilità (acqua, energia elettrica, gas, telecomunicazioni).

## REQUISITI

*Economia Politica ed Economia ed Organizzazione Aziendale I.*

## BIBLIOGRAFIA

(1) Il corso si basa su:

A. Petretto (1993) *Mercato, organizzazione industriale e intervento pubblico*, Bologna, Il Mulino.

Dispense distribuite in aula.

(2) Opzionali:

J. Tirole (1991) *Teoria dell'organizzazione industriale*, Milano, Hoepli.

J. Laffront, J. Tirole (1992) *A Theory of Incentives in Procurement and regulation*, Cambridge (MA): MIT Press

Per i richiami di macroeconomia:

P. Ravazzi, *Il sistema economico*, Roma, La Nuova Italia Scient., 1993, (3.5-3.6; 5B; 6)

H. Varian, *Microeconomia*, Venezia: Cafoscarina, 1990 (Cap. 1-9; 14-21)

N1530

## Economia ed organizzazione aziendale

Anno: Periodo 5:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 5+1+2(ore settimanali)

Docente: Gianni Guerra (Collab.: Dominiziano Boschi)

Lo scopo del corso è quello di far acquisire ai partecipanti la cultura base d'impresa: far comprendere il suo ruolo e le sue finalità nell'ambito del sistema economico, i suoi processi operativi ed i suoi rapporti con il mercato, i criteri di misura delle sue prestazioni in termini economici e finanziari, i principali fattori di competitività su qualità, costi e tempi, le diverse componenti del suo sistema organizzativo e di programmazione e controllo sia per le attività su previsione che commessa.

La scelta dei contenuti e delle modalità didattiche è stata fatta tenendo conto degli obiettivi di formazione, privilegiando la visione organica complessiva della tematica, piuttosto che approfondimenti particolari.

### REQUISITI

Si consiglia vivamente di rispettare tutte le requisiti indicate nel piano ufficiale degli studi

### PROGRAMMA

#### I. L'impresa nel sistema economico

- Economia e sviluppo economico, il ruolo dell'impresa.
- Il sistema economico ed il sistema delle imprese.
- Finalità e problematiche gestionali dell'impresa.
- Sintesi delle operazioni dell'impresa: processi di scambio sui mercati e processi interni.

#### II. I fondamenti economici e finanziari dell'impresa

- Archi temporali parziali: il bilancio di esercizio e la contabilità analitica  
Analisi delle componenti della capacità di reddito e dell'equilibrio finanziario  
Analisi dei costi per centri e per attività.
- Ciclo di vita definito: criteri e metodologie di analisi degli investimenti e dei finanziamenti.
- Ciclo di vita indefinito: il valore economico dell'impresa

#### III. Le strategie ed i fattori di competizione

- L'architettura strategica dell'impresa: le aree strategiche d'affari e le competenze distintive. L'ambiente: la struttura della domanda e della offerta, le forze competitive. Le scelte strategiche.
- Le capacità operative: fattori di qualità, costo e tempo.

#### IV. Il sistema organizzativo

- Le teorie: teoria razionale, teoria sociale, teoria dei sistemi. Organizzazioni meccanicistiche ed organicistiche.
- Le componenti del sistema organizzativo: le strutture, i sistemi operativi, la gestione del personale.
- Il sistema di controllo della gestione.

## ESERCITAZIONI

Modellaggio ed analisi, mediante tabelle elettroniche, di casi di:

1. redditività ed equilibrio finanziario dell'impresa
2. punto di pareggio e margine di sicurezza
3. contabilità analitica: costo dei prodotti da dati di distinta base e cicli di lavorazione
4. budget e controllo budgetario
5. investimenti/finanziamenti
6. costi diretti operativi e indici di redditività del trasporto aereo

## BIBLIOGRAFIA

Pc. Ravazzi, "*Il sistema economico*", La nuova Italia Scientifica, Capp. I, II

R. Caramel, "*Leggere il bilancio*", 24 Ore/Il Sole Libri

L. Peccati, "*Elementi di matematica finanziaria*", Ed. Riuniti

L. Brusa, "*Strutture organizzative d'impresa*", Giuffrè

Materiale didattico distribuito durante il corso

## ESAME

Scritto ed eventualmente completamento orale

L1530

## Economia ed organizzazione aziendale

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Tommaso Valletti

### REQUISITI

Gli strumenti di base dell'algebra e del calcolo differenziale

Il corso è diviso in due parti. Nella prima vengono studiate le principali forme di mercato e le teorie dell'impresa. Nella seconda parte si forniscono i fondamenti del bilancio d'impresa e dei metodi di analisi della finanza aziendale.

### PROGRAMMA

- Teoria del produttore e del consumatore.
- Forme di mercato: concorrenza perfetta, monopolio, concorrenza monopolistica, oligopolio.
- Teoria dell'impresa.
- Strumenti: compilazione ed analisi del bilancio, analisi degli investimenti.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni approfondiscono le tematiche impostate nelle lezioni ed applicano i metodi trattati.

### BIBLIOGRAFIA

R. Brealey, S. Meyers, "*Principi di finanza aziendale*", McGraw Hill, 1990

Coopers & Lybrand, (a cura di R. Caramel), "*Il bilancio delle imprese*", Il Sole 24 Ore Libri, 1993

P. Milgrom, J. Roberts, "*Economics, Organization and Management*", Prentice Hall, 1992

### ESAME

Prova scritta ed orale

**L1570****Elaborazione dati e segnali  
biomedici**

Anno: Periodo 5:2 Lezione, Laboratorio (facoltativo): 8+4 (ore settimanali)

Docente: Marco Knaflitz

Scopo del corso è il fornire una panoramica su alcune delle tecniche più attuali di elaborazione di dati sperimentali e segnali di interesse biomedico. Generalmente lezioni ed esercitazioni non saranno separate in modo preciso, ma all'esposizione della teoria seguiranno esempi applicativi ed esercizi in misura tale da rendere agevole la comprensione degli argomenti presentati. Il materiale esposto durante le lezioni può essere suddiviso in due parti: l'analisi statistica dei dati sperimentali, che copre circa un terzo del corso, e l'esposizione di tecniche specifiche di analisi dei segnali, che copre i rimanenti due terzi. Sono previste alcune esercitazioni di laboratorio non assistite, che consisteranno nello studio di problemi specifici utilizzando dati e segnali reali.

**REQUISITI**

È necessaria una discreta familiarità con le tecniche di analisi dei segnali e le nozioni di teoria delle probabilità presentate nel corso di *Teoria dei segnali*. È consigliata la frequenza del corso di *Strumentazione biomedica*.

**PROGRAMMA**

Il piano degli argomenti proposto nel seguito è stato preparato in modo da raggruppare temi trattati in circa 6-10 ore cadauno. Il livello di approfondimento con cui un argomento è trattato dipende in parte dall'importanza applicativa dell'argomento stesso ed in parte dalla necessità di preparare in modo adeguato i seminari specialistici, che non è sempre possibile programmare in modo certo con largo anticipo. Lo spazio dedicato ad ogni argomento potrà pertanto variare di anno in anno entro i limiti indicati.

- Presentazione dei metodi propri della statistica descrittiva e nozioni introduttive di statistica: differenze tra statistica descrittiva ed inferenziale, misure di tendenza centrale, definizione dei momenti statistici, misure di asimmetria, istogrammi ed altre rappresentazioni grafiche
- Richiami di teoria delle probabilità: proprietà delle distribuzioni di probabilità e delle funzioni densità di probabilità, estensioni al caso di più variabili casuali, descrizione delle proprietà di alcune distribuzioni di uso comune (binomiale, di Poisson, esponenziale, gaussiana,...)
- La teoria della stima puntuale ed intervallare: il concetto di distribuzione campionaria, proprietà degli stimatori puntuali, esempi di costruzione di stimatori puntuali a massima verosimiglianza, concetto di intervallo di confidenza ed esempi di stima intervallare
- I test di ipotesi: ipotesi semplici e composte, il teorema di Neyman-Pearson e la costruzione della regione critica, test unilateri e bilateri, analisi di osservazioni dicotome, osservazioni appartenenti ad una tra  $k$  classi, test sul valor medio e sulla varianza nel caso di due variabili casuali definite su una popolazione o una variabile

casuale definita su due popolazioni, ipotesi di omogeneità ed indipendenza, le tavole di contingenza

- Applicazioni di analisi statistica multivariata e regressione lineare: analisi degli outlier e test di ipotesi su vettori di valori medi, applicazione all'analisi del cammino ed al monitoraggio in terapia intensiva, regressione lineare ai minimi quadrati e regressione robusta, il coefficiente di correlazione
- La rivelazione di eventi: tecniche statistiche e morfologiche, rivelazione statistica dell'attivazione muscolare, il *matched filter*, la tecnica dell'*averaging* applicata ai potenziali evocati somatosensoriali, detezione del complesso QRS nel segnale elettrocardiografico, rivelatori e classificatori basati su tecniche neurali
- Analisi spettrale di segnali stazionari: i metodi non parametrici (*FFT based*), la finestratura ed altri metodi per la riduzione della varianza della stima; applicazioni al segnale elettroencefalografico ed elettromiografico
- Analisi spettrale di segnali stazionari: i metodi parametrici (AR, MA, ARMA), metodi per il calcolo dei coefficienti, stima spettrale a risoluzione infinita, limiti teorici. Applicazioni al caso del segnale elettroencefalografico ed al segnale di variabilità del ritmo cardiaco (intervalli R-R). Il filtro sbiancante
- La stima del ritardo tra due segnali deterministici e stocastici: tecnica della cross-correlazione, *spectral matching*, tecnica della risposta all'impulso; applicazione alla stima della velocità di conduzione muscolare. Il segnale EMG di superficie e la fatica muscolare localizzata. Allineamento di segnali ad alta risoluzione: applicazione all'analisi dei potenziali tardivi
- Riduzione del rumore e tecniche numeriche per la riduzione dell'interferenza di rete: filtraggio ottimo di Wiener, cenni alle possibilità offerte dagli spettri di ordine superiore (HOS), filtri *notch* FIR, IIR ed adattivi
- Compressione e riduzione dei dati ed il problema della ricostruzione: tecniche tipiche delle applicazioni all'elettrocardiografia dinamica e all'elettroencefalografia
- Applicazioni di metodi tempo-frequenza a segnali a supporto limitato nel tempo, ciclostazionari ed a processi casuali fortemente non stazionari: la trasformazione di Wigner-Ville e le versioni modificate, trasformazioni della classe di Cohen, proprietà. Applicazioni al segnale elettrocardiografico ed la segnale elettromiografico ottenuto in condizioni isocinetiche

## ESERCITAZIONI

(cfr. il programma)

## LABORATORIO

(cfr. il programma)

Saranno proposte 4-6 esercitazioni di laboratorio tra quelle presentate nel seguito. Temi specifici potranno essere aggiunti di anno in anno.

Ogni esercitazione richiede mediamente un impegno di 5-6 ore. Al fine di poter sostituire parte dell'esame orale con la valutazione dei laboratori, ogni studente dovrà redigere una relazione sui risultati ottenuti ed i problemi incontrati in ogni esercitazione.

1. Applicazione della statistica descrittiva all'analisi delle caratteristiche dei campioni di due popolazioni ottenute nel corso di uno studio sull'efficacia di un farmaco per la riduzione della colesterolemia

2. Applicazione della statistica descrittiva, degli stimatori puntuali e dei test di ipotesi ai dati relativi a pazienti critici ricoverati in terapia intensiva
3. Rivelazione di complessi QRS simulati ed originali mediante tecniche diverse. Estrazione e rivelazione di potenziali evocati somatosensoriali
4. Analisi spettrale mediante metodi parametrici e non parametrici di brani di segnale elettroencefalografico. Suddivisione dello spettro in bande alfa, beta, delta e teta
5. Analisi spettrale mediante metodi parametrici e non parametrici di brani di segnale elettromiografico volontario e stimolato elettricamente. Studio delle manifestazioni elettriche di fatica muscolare localizzata
6. Riduzione del rumore e dell'interferenza di rete in segnali elettrocardiografici, elettroencefalografici ed elettromiografici
7. Riduzione dell'artefatto dovuto all'elettrocardiogramma materno nell'ECG fetale
8. Applicazione di trasformazioni tempo-frequenza e wavelets all'analisi del ciclo cardiaco e del segnale elettromiografico ottenuto durante contrazioni isocinetiche

## BIBLIOGRAFIA

Non esiste un testo di riferimento che contenga tutti e solo gli argomenti trattati nel corso. Sarà disponibile materiale didattico aggiuntivo (fotocopie di lucidi, articoli,...).

P. Galeotti, *"Elementi di probabilità e statistica"*, Levrotto&Bella, Torino, 1984

C. Marchesi, *"Tecniche numeriche per l'analisi dei segnali biomedici"*, Pitagora Editrice S.r.l., Bologna, 1992

### Testi ausiliari

A.A. Afifi, S.P. Azen, *"Statistical analysis. A computer oriented approach"*, Academic Press Inc., San Diego, California, 92101, 1979

S.L. Marple, *"Digital spectral analysis with applications"*, Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, NJ, 1987

C.J. De Luca and M. Knaflitz, *"Surface electromyography: what's new?"*, CLUT, Torino, 1992

AA. VV. *"Time-frequency analysis. Methods and applications"*, Edited by B. Boshash, John Wiley and Sons Inc, New York, Toronto, Chichester, 1992

## ESAME

L'esame si basa su una prova orale, parte della quale può opzionalmente essere sostituita dalla valutazione delle relazioni che descrivono i risultati ottenuti nel corso dell'attività di laboratorio. Tale opportunità vale unicamente per l'anno solare in cui si è ottenuta la frequenza al corso.

**F1590-L1590****Elaborazione numerica dei segnali**

Anno: Periodo 4,5:1 Lezione, Esercitazione:4+2 (ore settimanali)

Docente: Ezio Biglieri

L'insegnamento si propone di studiare l'elaborazione numerica dei segnali, con particolare riguardo alle sue applicazioni alla codifica (quantizzazione) del segnale vocale. Dopo un richiamo dei concetti principali relativi ai segnali e sistemi discreti (trasformata  $z$ , ecc.) viene affrontato lo studio dei processi casuali discreti, con particolare riguardo al problema della predizione e della loro modellizzazione con schemi AR, MA, e ARMA. Viene poi affrontato lo studio della quantizzazione del segnale vocale, con particolare riferimento agli *standard* in uso per la trasmissione telefonica (rete terrestre e rete radio-mobile).

**REQUISITI**

*Comunicazioni elettriche (TLC)*

**PROGRAMMA**

(Ognuno degli argomenti qui elencati occupa circa 3 ore)

- Introduzione al corso. Campionamento e quantizzazione. Sistemi e segnali discreti. Sistemi lineari
- Invarianza. Risposta all'impulso di un sistema lineare invariante. Trasformata  $z$ , sua convergenza, sua inversione
- Sistemi lineari e invarianti. Causalità e stabilità di un sistema discreto dato tramite la risposta all'impulso e la funzione di trasferimento
- Cenni ai metodi di progetto dei filtri numerici (FIR e IIR). Strutture a reticolo
- Finestre temporali. Filtraggio omomorfo
- Processi casuali discreti. Stazionarietà in senso lato. Correlazione di un processo. La matrice  $R$  e le sue proprietà
- Spettro di densità di potenza di un processo casuale discreto. Sua definizione e sua stima: il metodo dell'autocorrelazione e il metodo del periodogramma. Metodi di Bartlett e di Welch
- Predizione lineare di un processo casuale discreto. Algoritmo di Levinson-Durbin, formula di Kolmogorov
- Processi AR, MA, ARMA: correlazioni e spettri di potenza. Stima dei parametri di un modello AR
- Ancora sui modelli AR, MA, ARMA. Campionamento, interpolazione e decimazione
- Trasformazioni discrete di segnali numerici: Fourier, trasformata del coseno, di Hadamard, di Karhunen-Loeve
- Introduzione al segnale vocale: il meccanismo di fonazione
- Il segnale vocale: Analisi dei suoi parametri statistici a breve e a lungo termine
- Introduzione alla quantizzazione. La quantizzazione scalare fissa
- La quantizzazione uniforme. La quantizzazione robusta. Legge  $\mu$  e legge A
- Il quantizzatore a legge di compressione ottima. Quantizzazione adattativa

- Quantizzazione predittiva
- Quantizzazione vettoriale
- Quantizzazione LPC (*standard* LPC-10)
- Altri tipi di quantizzatori. Applicazioni ai sistemi radio-mobili
- Quantizzatori per i sistemi di telefonia radio-mobile

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono in calcoli svolti sugli argomenti presentati durante le lezioni precedenti.

## LABORATORIO

1. Predizione lineare di processi casuali
2. Algoritmi di quantizzazione vettoriale

## BIBLIOGRAFIA

Appunti del docente distribuiti all'inizio del corso

### Testi ausiliari

N. Jayan and P. Noll, "*Digital Coding of Waveforms*", Prentice Hall, 1984

## ESAME

L'esame può essere sostenuto secondo due modalità distinte: esame tradizionale, esame con esoneri.

- L'esame tradizionale consiste in una prova scritta che verte sull'intera materia del corso.
- L'esame con esoneri consiste nel superamento di due prove di esonero durante lo svolgimento del corso. La prima prova di esonero si svolge dopo circa 7 settimane dall'inizio del corso e verte sugli argomenti trattati fino alla sesta settimana di lezione. La seconda prova di esonero si svolge immediatamente dopo la fine del corso e verte sugli argomenti trattati a partire dalla settima settimana di lezione. A chi abbia sostenuto entrambe le prove di esonero viene proposto un voto in trentesimi. L'accettazione di questo voto deve essere fatta prima del primo appello di esame regolare

Le prove scritte (esoneri ed esami) consistono in alcuni esercizi (tipicamente da tre a cinque) da svolgere in 3 ore

Durante le prove scritte è possibile consultare qualunque testo o appunto

## F1660-L1660-N1660 Elementi di meccanica teorica e applicata

Anno: Periodo 2:2 Lezione, Esercitazione: 4+4 (ore settimanali)

Docenti: (I corso) Carlo Ferraresi  
(II corso) Terenziano Raparelli

Il corso si sviluppa su circa 60 ore di lezione e 40 ore di esercitazione. Durante il corso verranno forniti gli strumenti necessari per la conoscenza, l'identificazione e la modellazione dei principali componenti e sistemi meccanici.

Verranno dapprima esaminate le leggi della cinematica e della dinamica, che saranno poi applicate ai corpi rigidi e ai meccanismi nel piano. Successivamente saranno fornite le nozioni per l'identificazione dei fenomeni di attrito e verranno trattati i componenti meccanici ad attrito, i sistemi di trasmissione e trasformazione del moto, i trasmissori nei sistemi meccanici. Saranno forniti gli strumenti per l'analisi delle vibrazioni libere e forzate di sistemi a un grado di libertà. Infine saranno fornite le nozioni fondamentali della lubrificazione e verranno descritte le più comuni tipologie di supporti lubrificati.

### REQUISITI

*Fisica I, Analisi Matematica I e II*

### PROGRAMMA

- *Cinematica*: Richiami di cinematica piana: cinematica del punto; cinematica del corpo rigido. Accoppiamenti tra corpi rigidi: principali tipi di coppie cinematiche; accoppiamenti di forza. Cinematica dei moti relativi. Analisi cinematica di meccanismi piani. [8 ore]
- *Dinamica*: Forze e momenti; operazioni con le forze; identificazione delle forze nei sistemi meccanici; diagramma del corpo libero; equazioni cardinali della dinamica; lavoro ed energia; impulso, quantità di moto e momento della quantità di moto. Azioni dinamiche su elementi rotanti, problemi di equilibratura. [12 ore]
- *Attrito*: Attrito radente statico e dinamico, attrito al perno; attrito volvente. [4 ore]
- *Componenti meccanici ad attrito*: Contatti estesi, ipotesi dell'usura; freni a pattino piano, freni a ceppi, freni a disco, freni a nastro; frizioni piane monodisco e a dischi multipli, frizioni coniche. [6 ore]
- *Sistemi di trasformazione e trasmissione del moto*: Meccanismi; ruote di frizione; ruote dentate; rotismi ordinari ed epicicloidali; trasmissioni con flessibili; sistema vite-madrevite. [10 ore]
- *Trasmissori nei sistemi meccanici*: Accoppiamento diretto motore-carico, accoppiamento motore-carico con riduttore di velocità, accoppiamento motore-carico con innesto a frizione; sistemi a regime periodico. [7 ore]
- *Vibrazioni*: Vibrazioni lineari di sistemi a un grado di libertà: vibrazioni libere senza e con smorzamento, vibrazioni forzate, identificazione della frequenza propria, del fattore di smorzamento, del fattore di amplificazione, della fase; misura delle vibrazioni: accelerometro e sismografo. [8 ore]

- *Supporti lubrificati*: Generalità sulla lubrificazione, viscosità, teoria elementare, tipologie di supporti lubrificati. [5 ore]

## ESERCITAZIONI

Scopo delle esercitazioni è fornire agli studenti le metodologie per la risoluzione di tipici problemi riguardanti l'analisi cinematica e dinamica di componenti e sistemi meccanici. Durante le esercitazioni gli studenti dovranno risolvere, sotto la guida del personale docente, esercizi riguardanti tutti gli argomenti del corso. Le ore che si prevede di dedicare a ciascun argomento sono:

Cinematica: [6 ore]. Dinamica: [7 ore]. Attrito: [4 ore]. Componenti meccanici: [4 ore]. Sistemi di trasmissione: [6 ore]. Transitori nei sistemi meccanici: [4 ore]. Vibrazioni: [5 ore]. Supporti lubrificati: [4 ore].

## BIBLIOGRAFIA

C. Ferraresi, T. Raparelli, "*Appunti di Meccanica Applicata*", CLUT, Torino, 1992.

### Testi ausiliari

J.L. Meriam, L.G. Kraige, "*Engineering Mechanics*", Vol. I & II, S.I. version, J. Wiley & Sons, New York, (USA), 1993.

G. Belforte, "*Meccanica Applicata alle Macchine*", Ed. Giorgio, Torino, 1993.

## ESAME

L'esame si svolge in forma scritta sull'intero programma (lezioni ed esercitazioni).

Per sostenere l'esame è obbligatoria l'iscrizione, almeno due giorni prima della data dell'appello, sull'apposito foglio esposto nella bacheca del Dipartimento di Meccanica (IV piano).

L'esame prevede la risoluzione di un certo problemi, di solito quattro, svolta su fogli vidimati e distribuiti al momento stesso dell'esame. Non è ammessa la consultazione di libri o appunti.

La durata della prova è di norma di quattro ore. È possibile ritirarsi dalla prova entro la prima ora; in tal caso l'elaborato, che dovrà comunque essere consegnato, non verrà valutato.

**F1711****Elettronica Applicata I (TLC)**

Anno :Periodo 3:1 Lezione, Esercitazioni: 4 +4 (ore settimanali)

Docente: Domenico Biey

Il corso di Elettronica Applicata I si prefigge di fornire allo studente le conoscenze fondamentali dell'elettronica circuitale nel campo analogico e logico.

**REQUISITI***Teoria dei Circuiti***PROGRAMMA**

Richiami di elementi di teoria dei circuiti. Filtri elementari attuati con doppi bipoli RC. Attenuatori resistivi di precisione. Partitore compensato e sua impedenza d'ingresso. Circuiti equivalenti di doppi bipoli amplificatori. Funzioni di trasmissione uscita/entrata al variare della frequenza, definizione delle frequenze di taglio inferiore e superiore. Distorsione di frequenza e fase, risposta al gradino ed all'onda quadra: tempo di salita ed inclinazione. Circuiti risonanti accoppiati. Distorsione di non linearità. La non linearità della relazione uscita/entrata usata per la conversione di frequenza e per la modulazione in ampiezza. Diodo a giunzione, diodo Zener e loro circuiti equivalenti. Circuiti fondamentali di impiego. Diodo in reti RC: diodo usato come rivelatore di segnali modulati, circuiti restauratori della componente continua. Cenni sui raddrizzatori a doppia semionda e sugli alimentatori. Funzionamento dinamico del diodo e dello Zener. Circuiti AND e OR attuati con diodi. Generalità sui componenti attivi e sui loro modelli. Transistori a giunzione (BJT), caratteristiche e circuiti fondamentali di impiego; polarizzazione. Transistori pnp e npn. Funzionamento nell'intorno del punto di polarizzazione e circuito equivalente per il transistor in regime di piccoli segnali. Generatore di corrente attuato con transistor. Circuiti a specchio di corrente. Transistori con carico attivo. Il transistor degli stadi finali di potenza. Amplificatore differenziale come stadio di ingresso di un amplificatore operazionale. Guadagno di modo comune, guadagno di modo differenziale e CMRR. Schema di un amplificatore operazionale e suo circuito equivalente. Generalità e proprietà della reazione. Reazione negativa. Definizione del guadagno di anello. Il problema della stabilità: effetto della reazione sui poli dell'amplificatore e studio della stabilità con i diagrammi di Bode. Correzione della curva di frequenza dell'amplificatore per ottenere la stabilità. Amplificatori operazionali con reazione negativa. Configurazioni fondamentali: sommatore generalizzato, integratore, derivatore. Amplificatori da strumentazione. Operazionali con reazione negativa attuata con elementi non lineari: raddrizzatori di precisione. Operazionale con reazione positiva: comparatore di soglia invertente e non invertente, isteresi e trigger di Schmitt, multivibratore astabile e monostabile. Generatori di segnali triangolari e convertitori di segnali triangolari in sinusoidali. Generatori con frequenza controllata da una tensione (VCO). Moltiplicatori analogici. Oscillatori sinusoidali. Condizioni di oscillazione per un amplificatore lineare: oscillatore di WIEN e oscillatori RLC. Controllo dell'ampiezza dell'oscillazione. Cenni sui convertitori AD e DA. Convertitore a rampa.

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula seguono fedelmente gli argomenti trattati a lezione e riguardano l'analisi e il progetto di semplici circuiti al fine di rendere più evidenti le metodologie illustrate.

## BIBLIOGRAFIA

Sedra, Smith, "*Microelectronics Circuits*", Saunders College Publishing.

Franco, "*Design with operational amplifiers and analog integrated circuits*", McGraw-Hill.

Chua, Desoer, Kuh, "*Linear and non Linear circuits*", McGraw-Hill.

## ESAME

L'esame è costituito da una prova scritta di opportuna durata, seguita da una prova orale. Durante la prova scritta è possibile ritirarsi senza che sia ritirato lo statino. Durante la prova scritta non si possono consultare libri ed appunti. Al termine della prova scritta verrà stilato il calendario degli orali.

**L1710****Elettronica applicata (ELN)**

Anno: Periodo 4:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+4/2/2 (ore settimanali)

Docenti: (I corso) Vincenzo Pozzolo  
(II corso) Franco Maddaleno  
(Collab.: Luciano Lavagno)

Il corso di Elettronica Applicata si prefigge di ampliare la formazione dello studente per quanto riguarda l'Elettronica circuitale, sia nel campo analogico che logico. Viene posta particolare enfasi sulla parte di metodologia di progetto di circuiti, evidenziando le varie fasi che permettono di passare dalle specifiche di un circuito alla sua realizzazione, tenendo conto delle caratteristiche dei componenti reali.

**REQUISITI**

*Analisi matematica III (r), Teoria dei circuiti elettronici, Dispositivi elettronici I.*

Per una proficua frequenza, gli studenti devono conoscere approfonditamente e padroneggiare con sicurezza gli argomenti trattati nei corsi di *Elettrotecnica* ed in quelli indicati sotto la voce requisiti.

**PROGRAMMA**

Elettronica digitale: (circa 8 lezioni)

- Definizione di porta logica e parametri caratteristici (livelli, soglie, transcaratteristica, ritardi, caratteristiche di ingresso e di uscita, prodotto velocità-potenza, immunità ai disturbi). Circuiti elementari di porte logiche (bipolari TTL ed ECL, CMOS). Flip-Flop, metastabilità. Memorie. Logica programmabile

Elettronica analogica: (circa 5 lezioni)

- Non idealità dei circuiti (*offset, derive, slew-rate*, dinamica). circuiti elementari per operazionali (specchi di corrente, differenziale). Tecniche di realizzazione di operazionali bipolari e MOS. Dipendenza dei parametri dell'operazionale dal circuito interno. Modelli dell'operazionale in linearità

Retroazione e stabilità: (circa 4 lezioni)

- Sistemi del primo e secondo ordine retroazionati. Posizione dei poli, risonanze. Compensazione a pole splitting, zero-polo, due poli e *feed forward*. Impedenze di ingresso e uscita

Utilizzo degli operazionali: (circa 5 lezioni)

- Amplificatori da strumentazione. Uso dell'operazionale fuori linearità. Comparatori con e senza isteresi. Generatori di forme d'onda. VCO e monostabili, Caratteristiche non lineari e lineari a tratti

Elettronica di interfaccia: (circa 4 lezioni)

- Sistemi e circuiti per l'acquisizione dati. Condizionamento di segnale. Multiplexer. Convertitori A/D e D/A. Circuiti di campionamento e mantenimento

Elettronica di ampio segnale: (circa 5 lezioni)

- Amplificatori di potenza in classe A e B. SOA, resistenza termica e dissipatori. Alimentatori lineari e a commutazione. Regolatori di tensione

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula seguono fedelmente gli argomenti trattati a lezione e riguardano il progetto completo di semplici circuiti, mettendo in evidenza le varie scelte che il progettista deve compiere per tener conto ad esempio di limitazioni imposte dai componenti reali e per il soddisfacimento di specifiche contrastanti. Essendo questo un corso di Elettronica applicata è fondamentale, anche in sede di esame, la capacità di leggere i fogli tecnici dei componenti e il corretto dimensionamento numerico dei progetti.

Ogni settimana vengono consigliati degli esercizi facoltativi tratti dal libro di testo da svolgere a casa, preferibilmente in gruppo, in modo da stimolare il confronto fra diverse soluzioni. I docenti correggono questi esercizi e li restituiscono agli interessati. Lo svolgimento di questi "homework" non comporta nessun vantaggio istituzionalizzato in sede di esame.

## LABORATORIO

Sono previste sei esercitazioni facoltative di laboratorio, della durata di circa 2 ore l'una, svolte in gruppi di quattro persone. Ogni gruppo deve avere un quaderno sul quale annotare, durante le ore di laboratorio, le osservazioni relative alla esercitazione svolta. Durante l'esercitazione di laboratorio è previsto il montaggio di semplici circuiti elettronici, sui quali rilevare e misurare alcuni dei comportamenti visti a lezione. Gli argomenti delle esercitazioni di laboratorio sono:

1. Transistore in commutazione
2. Comportamento elettrico delle porte logiche
3. Circuiti fondamentali con operazionali
4. Misura dei parametri di un operazionale
5. Diodo ideale e raddrizzatore a doppia semionda
6. Generatore di onda quadra e triangolare

## BIBLIOGRAFIA

– Per la parte di elettronica digitale, e alcuni aspetti della parte analogica:

Sedra, Smith, "*Microelectronics Circuits*", Saunders College Publishing  
oppure

J. Millman, A. Grabel, "*Microelectronics*", McGraw Hill

– Per la parte di utilizzo e progetto dei circuiti analogici:

S. Franco, "*Design with operational amplifier and analog integrated circuits*", McGraw Hill

– Per le esercitazioni:

Quaderno LADISPE numero 2, "*Caratteristiche di componenti elettronici per i corsi di Elettronica*", CLUT

– Per il laboratorio:

Quaderno LADISPE numero 3, "*Guida alle esercitazioni di laboratorio per il corso di elettronica applicata*", CLUT

Alcuni argomenti sono trattati su articoli indicati durante il corso

Altro materiale di studio preparato dai docenti è disponibile in copisteria.

### Testi ausiliari

Dostal, "*Operational amplifiers*", Butterworth-Heinemann

## ESAME

Nella sessione di esame vi è un appello ogni martedì.

L'esame è costituito da uno scritto (prenotazione obbligatoria presso la segreteria di Elettronica) e da un orale.

Lo scritto consiste in un progetto simile a quelli eseguiti durante le esercitazioni in aula. La durata è di 30 minuti.

All'esame si deve essere muniti di calcolatrice, libro delle caratteristiche dei componenti.

Durante lo scritto è possibile ritirarsi senza lasciare traccia, si possono consultare libri ed appunti, non si devono consultare i compagni, pena l'annullamento dello scritto.

L'orale ha luogo subito dopo lo scritto, lo stesso giorno o i giorni immediatamente successivi, e verte per lo più su argomenti trattati a lezione o a esercitazione in aula e ha durata media di un'ora.

Pur non essendo fiscalmente richiesto il superamento dei corsi propedeutici, sono comunque possibili in sede di esame richiami ai corsi di Teoria dei Circuiti, Elettrotecnica, Dispositivi Elettronici ecc. La mancata conoscenza di concetti fondamentali dei corsi precedenti provoca l'immediata riprovazione.

Di solito l'orale consiste di due domande la cui valutazione viene mediata con lo scritto (2/3 orale, 1/3 scritto). In caso di non superamento dell'orale il candidato può ripresentarsi all'esame (scritto e orale) al più solo una seconda volta nella stessa sessione, ad opportuna distanza di tempo suggerita dal docente, (normalmente due o più settimane).

In caso di rifiuto del voto proposto vengono seguite le stesse norme.

Anno: Periodo 3:1

Docente: Marco Giordana

Il corso ha lo scopo di fornire le nozioni di base relative al funzionamento dei dispositivi e sistemi elettronici, con una particolare attenzione alle applicazioni digitali.

Il corso si articola in due sezioni, le lezioni e le esercitazioni, che sono tra di loro in parte complementari ed in parte indipendenti.

Alle lezioni è demandato il compito di inquadramento complessivo della materia e, con riferimento ai circuiti analogici, una ampia trattazione dell'amplificatore operazionale e la descrizione di alcune sue applicazioni lineari e non lineari.

Le esercitazioni comprendono alcuni cenni alla tecnologia dei dispositivi elettronici, la definizione e l'inquadramento delle tecniche di progettazione per circuiti digitali VLSI, l'utilizzo di strumenti elettronici di base per la misura e la valutazione di semplici circuiti elettronici.

Le esercitazioni si svolgeranno sia in aula sia in laboratorio. Le modalità delle esercitazioni in laboratorio dipendono dagli studenti.

## REQUISITI

*Elettrotecnica*

## PROGRAMMA

### *I PARTE: Introduzione*

- Definizione di segnale analogico e discreto
- Panoramica sui circuiti analogici: amplificatori, filtri, circuiti non lineari, generatori di forme d'onda, alimentatori
- Panoramica sui circuiti digitali: circuiti combinatori, circuiti sequenziali, circuiti misti sequenziali e combinatori
- Problematiche di progetto: progettazione mediante componenti discreti, progettazione mediante circuiti integrati, progettazione mediante circuiti ibridi
- Considerazioni termiche: definizione di resistenza termica, contenitori e dissipatori

### *II PARTE: Segnali e circuiti logici*

- Definizione di segnale logico: assegnazioni logiche, logica positiva e negativa; definizione del margine dell'uno e dello zero logico; definizione del margine di rumore; temporizzazioni; capacità di pilotaggio: *fan out*, carichi capacitivi
- Famiglie logiche: famiglia logica TTL e sue derivate, famiglia logica CMOS e sue derivate, famiglia ECL e sue derivate, confronto fra le diverse famiglie logiche
- Analisi delle prestazioni. Applicazioni principali. Esempi di circuiti combinatori
- Esempi di circuiti sequenziali: *flip flop* di tipo elementare, *flip flop* sincronizzati con il segnale di *clock*, contatori, registri a scalamento

### *III PARTE: Memorie*

- Classificazione delle memorie elettroniche: memorie statiche e dinamiche, memorie seriali ed ad accesso casuale, memorie a lettura e scrittura, memorie a sola lettura
- Memorie per applicazioni particolari: memorie a doppia porta, memorie FIFO

- Organizzazione di un banco di memoria
- Dispositivi logici programmabili

#### IV PARTE: Amplificatori

- Generalità sugli amplificatori: definizione di curva di risposta, amplificatori a larga banda, amplificatori per grandezze continue, amplificatori selettivi
- Amplificatori operazionali: separazione dei modi, amplificatore operazionale ideale, il concetto di reazione: negativa, positiva, l'amplificatore operazionale reale, applicazioni lineari dell'amplificatore operazionale, applicazioni non lineari dell'amplificatore operazionale

#### V PARTE: Alimentatori stabilizzati

- Generalità sugli alimentatori
- Principali fonti di energia
- Circuiti di raddrizzamento
- Regolatori lineari dissipativi
- Regolatori a commutazione (cenni)

#### ESERCITAZIONI

1. Componenti passivi
2. Componenti attivi e modelli
3. Il simulatore elettrico SPICE
4. Circuiti digitali e metodologie di progetto VLSI
5. Esempi di architetture semplici sistemi digitali

#### BIBLIOGRAFIA

- R. Muller, T. Kamins, "*Device electronics for integrated circuits*" Second Edition, John Wiley & Sons, 1986
- C. Mead, L. Conway, "*Introduction to VLSI systems*", Addison Wesley, 1980
- D. Pucknell, K. Eshraghian, "*Basic VLSI design Systems and circuits*", Prentice Hall, 1988
- D. Schilling, C. Belove, "*Electronic circuits*" Third Edition, McGraw Hill, 1989
- S. Franco, "*Operational Amplifier and Analog Integrated circuits*", McGraw Hill, 1988

Anno : Periodo 4:1 Lezione Esercitazione Laboratorio: 6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Maurizio Zamboni

Il corso di Elettronica Applicata II intende ampliare la formazione elettronica degli allievi informatici, iniziata con il corso di Elettronica Applicata I. Durante la prima parte del corso saranno affrontate le tematiche relative all'interconnessione di dispositivi e sistemi elettronici, con particolare riferimento alle strutture, ai protocolli e al comportamento elettrico. Nella seconda parte si analizzeranno le interazioni tra sistemi elettronici ed il mondo esterno mettendo in evidenza i differenti metodi di analisi e conversione del segnale. In questa ottica si prenderanno in considerazione i sistemi di acquisizione dati, coprendo tutta la catena che va dai trasduttori al sistema di conversione, fino agli attuatori.

## REQUISITI

*Elettrotecnica, Elettronica applicata I*

## PROGRAMMA

### PARTE I: Strutture di interconnessione

Classificazione dei sistemi di interconnessione

- Interconnessioni tra sistemi. Interconnessioni tra sottosistemi. Interconnessioni nei circuiti integrati (VLSI)

Canali di comunicazione

- *Bus* paralleli. Comunicazione seriale (con accenni al formato RS232). Accenni ai *Bus* ottici

Protocolli di comunicazione e loro realizzazione con componenti elettronici

- *Standard* di comunicazione (VME, SBUS, PCI, IEEE488). Circuiti di interfaccia

Problemi elettrici

- Teoria delle linee, riflessioni, coefficiente di riflessione, metodi per il calcolo delle riflessioni con componenti lineari e non. Terminazioni, adattamento. Disturbi sulle linee. Disturbi sull'alimentazione. Driver e ricevitori. Metastabilità

### PARTE II: Sistemi di acquisizione dati

Teoria del campionamento nel dominio del tempo e della frequenza

- Teorema di Nyquist, Aliasing, Quantizzazione. Schema a blocchi di un sistema di acquisizione dati

Condizionamento del segnale

- Amplificatori, Amplificatori per Strumentazione, Filtri. *Multiplexer*

Convertitori Digitali/Analogici

- Errori/prestazioni. DAC a resistenze pesate. DAC a rete a scala R-2R. DAC a capacità commutate. *Multiplying DAC*

Convertitori Analogici/Digitali

- Errori/prestazioni. ADC ad inseguimento e ad approssimazioni successive. ADC *flash* e *subranging flash*. ADC a doppia rampa. ADC per applicazioni speciali (sigma-delta)

*Sample and Hold*

- Errori/prestazioni. Analisi dei principali circuiti Convertitori Frequenza/Tensione e Tensione/Frequenza
- Circuiti a *duty cycle* fisso (VCO). Circuiti a *duty cycle variabile*
- Trasduttori (dal punto di vista elettronico)
- Rilevamento del segnale (trasduttori di posizione, velocità, accelerazione, forza, coppia, prossimità, temperatura). Amplificazione e filtraggio
- Attuatori (interfacciamento elettrico)
- Pilotaggio di un solenoide. Pilotaggio di un motore corrente continua, *brushless*, passo passo

## ESERCITAZIONI

Interfacciamento di canali di comunicazione. Descrizione di una scheda basata sul microcontrollore 68HC11 che sarà usata nelle esercitazioni di laboratorio. Sistemi di Acquisizione Dati

## LABORATORIO

Interfacciamento con 68HC11. Riflessioni e disturbi. Sistemi di acquisizione dati I (ADC, DAC, filtri analogici). Sistemi di acquisizione dati II (Filtri numerici). Sensori e attuatori (sensore di temperatura, di posizione, motorino passo passo)

## BIBLIOGRAFIA

M. Zamboni, M. Divià, "Elettronica dei sistemi di interconnessione ed acquisizione dati"  
G Masera, M. Zanmboni, "Laboratorio di elettronica applicata 2", CUSL, 1996

## ESAME

Prova orale.

Anno: Periodo 4:1 Lezione, Esercitazione teorica, Laboratorio: 6+2+4 (ore settimanali)

Docente: Claudio Sansoè

Il corso si propone di fornire una formazione di base di elettronica digitale, sia dal punto di vista circuitale, sia da quello della progettazione di semplici circuiti logici, e di ampliare la formazione di base nell'elettronica analogica, completando ed integrando le nozioni acquisite nel corso di Elettronica Applicata. Nella 1<sup>a</sup> parte del corso vengono studiati i circuiti logici, partendo dalla costituzione interna delle porte logiche di base, spostandosi poi sull'interfacciamento tra porte logiche per concludere con la progettazione di reti combinatorie e sequenziali sincrone. Un accenno viene poi fatto alle logiche programmabili e ai linguaggi di descrizione dell'*hardware* (VHDL). Nella 2<sup>a</sup> parte del corso vengono studiati circuiti analogici di particolare interesse per il Corso di Laurea in Telecomunicazioni, quali i filtri attivi, i circuiti a capacità commutate e gli anelli ad aggancio di fase (PLL). L'ultima parte del corso tratta dell'interfaccia tra mondo analogico e digitale: vengono studiati i convertitori D/A e A/D e i circuiti di supporto (*Sample and Hold*, amplificatori di condizionamento).

## REQUISITI

*Elettronica Applicata*

## PROGRAMMA

- Il transistor MOS: caratteristiche di ingresso-uscita, zone di funzionamento, processo di fabbricazione, comportamento statico e dinamico.
- Caratteristiche elettriche dei circuiti logici: impiego di transistori BJT e MOS in commutazione; famiglie logiche: parametri statici e dinamici, analisi degli stadi di ingresso e di uscita delle porte logiche, circuiti interni di porte elementari in tecnologia TTL, CMOS e ECL; uso dei transmission gate in tecnologie CMOS.
- Circuiti combinatori e sequenziali elementari: *inverter*, NAND, NOR, XOR, *latch* e *flip-flop*.
- Progettazione di reti logiche combinatorie e sequenziali: specifiche, tabelle di verità, mappe di Karnaugh, automi a stati finiti, diagramma degli stati, sintesi con *flip-flop* D; analisi delle prestazioni: frequenza massima di funzionamento, tempi di *set-up* e di *hold*, ritardi di propagazione.
- Memorie e logiche programmabili: organizzazione interna delle memorie, memorie ROM, EPROM, EAROM, RAM statiche e dinamiche. Logiche programmabili: PAL, EPLD, FPGA.
- Richiami sugli amplificatori operazionali: parametri statici e dinamici (*offset*, *bias*, *slew-rate* e *derive*).
- Filtri attivi: progettazione di filtri del I e del II ordine. Sintesi di filtri di ordine superiore mediante cascata di celle del I e II ordine.
- Principio delle capacità commutate: circuiti di base, filtri del I e II ordine, limiti di frequenza per l'uso di questa tecnologia

- Anelli ad aggancio di fase (PLL): Analisi linearizzata della funzione di trasferimento, risposta a variazioni di fase notevoli, comportamento in presenza di rumore, banda equivalente, analisi sul piano delle fasi e circuiti per realizzare PLL. Esempi di impiego
- Sistemi di acquisizione dati: campionamento e quantizzazione, rumore di quantizzazione; studio di caratteristiche statiche e dinamiche, errori e schemi di convertitori D/A, convertitori A/D, *Sample and Hold* e amplificatori di condizionamento; realizzazione di convertitori speciali: *pipeline*, PCM-log, differenziali e differenziali adattativi.

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula riguardano il progetto guidato di circuiti esemplificativi degli argomenti trattati a lezione.

## LABORATORIO

Il corso prevede 6 esercitazioni di laboratorio della durata di 4 ore ciascuna:

1. Misura delle caratteristiche di transistori MOS nelle diverse zone di funzionamento. Funzionamento in commutazione di transistori MOS e BJT.
2. Transcaratteristica di inverter TTL LS. Misura delle caratteristiche di porte TTL *Open-collector* e HC con isteresi.
3. Descrizione in VHDL, compilazione e programmazione su FPGA di un circuito sequenziale sincrono (FSM). Verifica delle prestazioni.
4. Realizzazione di circuiti con amplificatori operazionali e misura degli effetti delle non idealità sulle funzioni di trasferimento.
5. Progetto di un filtro attivo passa-basso a partire dalle specifiche in banda passante e attenuata.
6. Progetto e misura delle caratteristiche statiche e dinamiche di un convertitore D/A con rete a scala. Modifiche per ottenere un convertitore A/D ad inseguimento.

## BIBLIOGRAFIA

Per la parte analogica: S. Franco, "*Design with operational amplifiers and analog integrated circuits*", McGraw-Hill, 1988

Per la parte digitale e per i MOS: A.S. Sedra, K.C. Smith, "*Circuiti per la Microelettronica - Corso di Elettronica Applicata*", Edizioni Ingegneria 2000, 1994

Per i laboratori: 1) I quaderni del LADISPE, n.2, "*Caratteristiche di componenti elettronici*", CUSL, Torino; 2) altro volume della stessa collana, da pubblicare, dal titolo provvisorio "*Esercitazioni sperimentali per il corso F1712*"

## ESAME

Scritto breve (1 ora) seguito da orale. Lo scritto viene corretto interattivamente durante l'orale. Sono previste due prove di esonero, una per la parte digitale (a fine Novembre), una per la parte analogica (a fine Gennaio). Se entrambe le prove di esonero sono superate, è possibile accettare il voto risultante (max. 27/30), o accedere ad un orale integra-

tivo (+/- 3/30 rispetto al voto dell'esonero). L'orale integrativo deve essere sostenuto entro Marzo.

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+2+2 (ore settimanali)

Docente/i : Eros Pasero, Massimo Ruo Roch

Il corso si occupa delle problematiche più squisitamente elettroniche dei circuiti digitali. Vengono esaminate nel dettaglio le logiche bipolari e MOS, i circuiti di interconnessione, i sistemi di interfaccia digitali. La teoria delle linee viene applicata ai sistemi di connessione (PCB e cavi) per studiare i problemi di riflessioni, diafonia e interferenze. Vengono infine presentate alcune lezioni sulle reti neurali artificiali, viste sia dal punto di vista algoritmico che da quello strutturale. Durante il corso gli studenti frequentano due laboratori. Presso il LADISPE vengono sviluppate una serie di esercitazioni basate su microcontrollori, DSP e circuiti logici veloci. Nell'altro laboratorio lo studente apprende l'uso di strumenti CAD per la progettazione di circuiti elettronici. Nel corso di questa attività lo studente sviluppa il progetto di un circuito digitale basato su logiche programmabili XILINX, lo simula e lo implementa su chip che testa poi tramite il microcontrollore in uso al LADISPE.

#### REQUISITI

*Elettronica Applicata, Teoria dei Circuiti Logici.*

#### PROGRAMMA

##### Famiglie CMOS

- Inverter CMOS, comportamento statico e dinamico
- Rumore, ritardi, *Fan-Out*
- Logiche Avanzate

##### Famiglie Bipolari: ECL

- Circuito interno
- Margine di rumore, *Fan-Out*
- Famiglie

##### Buffer e Driver

- *Open Collector*
- *Three-State*
- *Peripheral Driver*
- Interfacce

##### Circuiti rigenerativi

- *Flip-Flop*
- Multivibratori (74221)
- Schmitt Trigger (7414)

##### Memorie

- RAM statiche
- RAM dinamiche
- ROM, EPROM
- gestione

##### Dispositivi Logici Programmabili

- Famiglie XILINX
- Uso di CAD per la progettazione e programmazione

#### Teoria delle linee

- Effetti sulla trasmissione dei segnali
- Riflessioni, propagazione, diagramma a traliccio
- Mezzi di trasmissione (cavi, circuiti stampati)
- Diafonia, disaccoppiamento, margini di rumore
- EMI

#### Protocolli di trasmissione

- Bus sincroni, asincroni e semisincroni, modello ISO-OSI di riferimento
- Collegamenti seriali (RS-232)
- Collegamenti paralleli (Centronics)

#### Microprocessori

##### Microcontrollori (Motorola MCHC11)

##### DSP (Texas 320Cxx)

#### Reti Neurali

- Modelli
- Architetture
- realizzazioni hw
- applicazioni

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula verranno svolte in alternativa ai laboratori. Durante il semestre potranno quindi occupare 2, 4 oppure 0 ore in accordo con il programma dei laboratori. Il programma è lo stesso delle lezioni e prevede lo svolgimento di esercizi numerici. Se ultimato in tempo sarà forse disponibile uno strumento multimediale interattivo per lo svolgimento automatico di alcuni esercizi.

## LABORATORIO

1. Verifica del funzionamento di un motore passo-passo
2. Realizzazione di un' interfaccia RS232 con tecniche di *flying capacitors*
3. Misure su linee di trasmissione: riflessioni
4. Misure di capacità con variazione dei tempi di salita.
5. Test di circuito logico Xilinx

#### CAD microelettronico:

Gli studenti avranno un certo ore per sviluppare il progetto di un circuito digitale basato su logiche programmabili XILINX. Il progetto verrà sviluppato su *workstation* in ambiente MENTOR tramite l'uso di editor grafici e/o uso di linguaggi VHDL. Il progetto verrà sintetizzato per l'implementazione su di un circuito Xilinx serie 2000 e simulato. Tramite compilatore XACT ogni studente realizzerà effettivamente un circuito integrato programmabile che verrà testato sulla piastra MC68HC11 utilizzata al LADISPE.

## BIBLIOGRAFIA

- H. Haznedar "Digital Microelectronics", The Benjamin/Cummings Company Inc.  
 E. Pasero, "Appunti delle lezioni di Elettronica dei Sistemi Digitali".

**Testi ausiliari**

H.W.Johnson, M.Graham "*High Speed Digital Design*", Prentice Hall International  
D. Del Corso, H. Kirmann, J.D.Nicoud "*Bus e interconnessioni per sistemi a microprocessori*", Addison Wesley Masson..

**ESAME**

L'esame verte su una valutazione delle attività svolte presso i laboratori, più una verifica scritta sul grado di conoscenza degli argomenti trattati a lezione ed esercitazione. Se lo studente lo ritiene opportuno può anche sostenere un orale integrativo. È inoltre disponibile un numero limitato di tesine che verranno valutate in sede di esame.

**L6120****Elettronica delle microonde**

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali); Laboratorio: 8 (ore annuali)

Docente: Carlo Naldi

Il corso si occupa della parte più elettronica-dispositivistica dei sistemi a microonde, lasciando ad altri corsi (Microonde) il compito di analizzare i problemi di tipo elettromagnetico quali la propagazione lungo le linee di trasmissione. Dopo una breve parte iniziale volta a garantire la conoscenza di alcuni strumenti fisici di base per l'esame dei dispositivi si studiano i più importanti dei dispositivi nel campo delle alte frequenze per telecomunicazioni, non rinunciando al tentativo di presentarne lo studio in modo sistematico e unitario al fine di suggerire una metodologia per la comprensione di altri dispositivi non esaminati. Di ogni dispositivo si studiano le principali applicazioni. Per completezza si esaminano brevemente anche alcuni dispositivi per comunicazioni ottiche. Parte essenziale del corso è costituita da un progetto individuale di un circuito integrato (Monolitico o ibrido) a microonde. Il corso deriva dal corso Dispositivi Elettronici II di cui conserva ancora una parte in comune, pertanto allo stato attuale i due sono mutuamente esclusivi.

**REQUISITI**

*Dispositivi elettronici I*

**PROGRAMMA****I PARTE**

- *Cenni di meccanica quantistica*: Equivalenza pacchetto d'onde-particella. Distribuzioni di Maxwell, di Bose-Einstein e di Fermi-Dirac. Hamiltoniana del sistema. Emissione e assorbimento [12 ore]
- *Elettrone in un reticolo*: Relazione di dispersione. Equazione di Schrödinger Teorema di Bloch. Modello di Kronig-Penney [8 ore]
- *Semiconduttori per applicazioni in alta frequenza*: Proprietà dei semiconduttori composti III-V, II-VI. Eterostrutture: adattamento reticolare e strati sotto tensione. Leghe ternarie e quaternarie [6 ore]
- *Fenomeni di trasporto*: Condizioni di non equilibrio, pseudolivello di Fermi. Collisioni con impurità ionizzate e con vibrazioni reticolari. Fononi acustici e ottici. Interazione elettrone-fonone. Curva velocità-campo. Equazione di Boltzmann [9 ore]

**II PARTE**

- *Dispositivi a effetto di volume*: Diodi Gunn. 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]
- *Tecnologia dell'arseniuro di gallio*: Crescita monocristallina. Semisolante (compensazione dislocazioni-carbonio). Tecniche epitassiali: LPE, MOCVD, MBE. Impiantazione ionica [6 ore]

- *Fenomeni di breakdown*: Soglia per la valanga. Dispositivi a valanga e tempo di transito. Diodi IMPATT. Analisi di piccolo segnale e oscillatori. Tecnologia del dissipatore integrato [5 ore]
- *Fenomeni di generazione-ricombinazione*: Centri di ricombinazione; teoria SRH [4 ore]
- *Dispositivi optoelettronici*: Diodi a emissione di luce (LED); Celle solari: al silicio, a eterogiunzione, Schottky, con concentrazione e con "spectral splitting"; Fotorivelatori: fotoconduttore, fotodiodi. Laser a omostruttura e a eterostruttura: SH e DH, a striscia, a reazione distribuita [8 ore]
- *Modelli matematici dei dispositivi*: Modello stazionario continuità - Poisson. Modelli non stazionari: equazioni dell'energia e del momento. Tecniche Montecarlo [3 ore]
- *MESFET all'arseniuro di gallio*: Amplificatori di basso rumore e di potenza, oscillatori, mescolatori. Tecnologie epitassiali e per impiantazione [6 ore]
- *Circuiti integrati Monolitici (MMIC)*: Componenti passivi e loro modelli. Linee di trasmissione. Tecniche di progetto: [6 +4 ore]
- *Dispositivi a superreticolo*: "Multi-quantum well" e modulazione del drogaggio; HEMT, pseudomorfici; transistori bipolari a eterogiunzione HBT. Dispositivi a tunneling risonante [6 ore]
- *Progetto individuale di un amplificatore integrato a microonde*: Studio degli strumenti di simulazione (ACCAD, Touchstone). Tecniche di sintesi di reti di adattamento e interconnessione. Esecuzione presso il LAIB del progetto [0 + 6 + 8]

## BIBLIOGRAFIA

Copie dei lucidi presentati a lezione vengono distribuite agli studenti

### Testi ausiliari

Michael Shur, "Physics of semiconductor devices", Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990

## ESAME

L'accertamento è relativo alle due parti in cui è diviso il corso. Usualmente (ma non necessariamente) vengono superate separatamente; durante il semestre viene data la possibilità con una prova di esonero di superare la prima parte. Il voto della prima parte fa media con quello della seconda e con il voto ottenuto sul progetto.

## L1740-F1740 Elettronica delle telecomunicazioni

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+1+4 (ore settimanali)

Docente: Dante Del Corso (Collab.: Luciano Lavagno)

Il corso è dedicato allo studio e al progetto dei circuiti e sistemi elettronici, con particolare riferimento a quelli usati nei sistemi di telecomunicazione. Sono esaminate in dettaglio alcune unità funzionali (indicate nel programma), delle quali si analizzano il comportamento esterno e le realizzazioni con diverse tecniche (componenti discreti, circuiti integrati, componenti programmabili). Sono approfonditi i legami tra aspetti circuitali e comportamento dei sottosistemi.

Il principale obiettivo del corso di Elettronica delle Telecomunicazioni è sviluppare le capacità di progetto. Il corso comprende esercitazioni in laboratorio che consentono di verificare la rispondenza dei circuiti reali con quanto progettato.

### REQUISITI

*Reti logiche (ELN), Comunicazioni elettriche (TLC).*

Il corso presuppone le conoscenze relative ai corsi di *Elettronica Applicata* (e precedenti corsi di elettronica).

### PROGRAMMA

- Transistori fuori linearità; loro uso come limitatori, moltiplicatori di frequenza, negli amplificatori accordati e negli oscillatori sinusoidali.
- Circuiti lineari con amplificatori operazionali: amplificatori AC a larga banda, filtri attivi.
- Circuiti non lineari con amplificatori operazionali: convertitori logaritmici ed esponenziali, miscelatori e moltiplicatori, diodo ideale, convertitore AC-DC.
- Sistemi di conversione A/D/A: principi generali, rumore di quantizzazione, classificazione, analisi degli errori. Convertitori per uso telefonico, a residui, a sovraccampionamento, log-PCM, differenziali.
- Aspetti sistemistici dell'integrazione di sottosistemi analogici.
- Anelli ad aggancio di fase (PLL): analisi lineare e non lineare, campi di funzionamento, banda equivalente, componenti base (VCO e demodulatori di fase).
- Applicazioni dei PLL: demodulatori AM, FM, PM, FSK, PSK, separazione del *clock*, moltiplicazione e risincronizzazione di segnali di cadenza. Generatori di segnali e modulatori con PLL e con sintesi digitale diretta.
- Progetto di sottosistemi con logiche programmabili.
- Strutture di interconnessione per sottosistemi numerici: linee di trasmissione, propagazione di segnali binari, tecniche di sincronizzazione, problemi di EMC nelle interconnessioni.
- Il corso è completato da alcuni seminari tenuti da progettisti operanti nell'industria, su argomenti definiti anno per anno (controllo qualità, metodi di progetto, gestione di progetti, documentazione, collaudo,...).

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula sono strettamente abbinate alle lezioni, e prevedono principalmente lo sviluppo dei progetti da realizzare in laboratorio.

## LABORATORIO

Ogni esercitazione consiste in un piccolo progetto dal sviluppare secondo le specifiche indicate, da realizzare e verificare in laboratorio. Sul progetto e sui risultati delle misure deve essere stesa una relazione, da preparare durante l'esecuzione dell'esperienza.

Gli argomenti delle esercitazioni sono: Amplificatore AC a transistori; Filtro attivo; Amplificatore logaritmico; Convertitore D/A; Circuiti PLL (2); Logiche programmabili; Propagazione di segnali logici.

## BIBLIOGRAFIA

D. Del Corso, "*Elettronica delle telecomunicazioni*", Levrotto&Bella, Torino (edizione 1995)

### **Testi ausiliari**

Indicati nei vari capitoli del testo di riferimento.

## ESAME

Singoli allievi o gruppi di 2 possono svolgere "tesine" su argomenti attinenti il corso, concordati con il docente. Per ciascuna tesina deve essere presentata una relazione scritta, e deve essere fatta una breve presentazione in aula. Lo svolgimento di una tesina esonera, in sede di esame, da una parte degli argomenti svolti nel corso

Nella data fissata per l'appello vengono raccolte le prenotazioni per sostenere l'esame da quel momento fino al successivo (entro la sessione)

L'esame comprende un breve scritto, svolto immediatamente prima dell'orale

Nel determinare il voto d'esame vengono valutate anche le relazioni di laboratorio.

## E1754-L1754 Elettronica dello stato solido (r)

Anno: Periodo 5:2 Lezione/Esercitazione, Laboratorio: 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 nel 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 nell' svolgimento e nella discussione orale di un progetto di simulazione numerica di dispositivi.

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 6+4/2+0/2 (ore settimanali)

Docente: Franco Maddaleno

Il corso di Elettronica di Potenza ha lo scopo di presentare sia gli aspetti teorici (modelli dei circuiti), sia gli aspetti progettuali e realizzativi dei più importanti circuiti amplificatori e alimentatori utilizzati nei sistemi elettronici di piccola potenza (<1kW). La prima parte riguarda l'attuazione e l'amplificazione di potenza, con particolare enfasi sulla amplificazione a bassa frequenza, usata per il comando di piccoli attuatori. Nella seconda parte vengono esaminati gli alimentatori, visti dapprima come sistemi e poi più in dettaglio dal punto di vista circuitale. Vengono trattati i regolatori lineari e quelli a commutazione ad onda quadra (*switching*).

#### REQUISITI

Essendo questo un corso di tipo circuitale applicativo, è richiesta una forte propensione per gli argomenti di tipo circuitale e un'ottima conoscenza dei corsi circuitali precedenti.

#### PROGRAMMA

– *Cenni ai dispositivi di potenza*: [ 4 ore]

Diodo, transistore bipolare, transistore ad effetto di campo (MOSFET), IGBT

– *Interruttori elettronici*: [12 ore]

Interruttori elettronici (MOSFET, BJT), caratteristiche e uso. Amplificazione di segnali digitali per il comando di attuatori. Pilotaggio di carichi resistivi, induttivi e misti. Topologie *hi side* e *low side*

– *Amplificatori lineari*: [14 ore]

Retroazione e stabilizzazione. Tecniche di analisi, progetto e misura dell'anello di retroazione. Amplificatori in classe B, G e H, caratteristiche e rendimenti. Operazionali di potenza, caratteristiche e uso. Distorsioni e intermodulazioni. Amplificatori a commutazione (classe D). Problemi termici in regime transitorio

– *Caratteristiche generali degli alimentatori*: [4 ore]

Classificazione, Specifiche, Affidabilità, Prestazioni, Protezioni, *Standard*, Interferenze elettromagnetiche

– *Alimentatori dissipativi*: [4 ore]

Conversione AC/DC, stabilizzazione serie e parallelo. Regolatori integrati e discreti

– *Analisi di alimentatori ad onda quadra*: [14 ore]

Configurazioni fondamentali: *Buck*, *Boost* e *Buck-boost*. Caratteristiche stazionarie in modo continuo e discontinuo. Comportamento dinamico. Modelli linearizzati, media nello spazio degli stati, media degli interruttori, media del circuito. Linearizzazione. Controllo in voltage mode e current mode. Correttori di fattore di potenza

– *Configurazioni derivate*: [8 ore]

Analisi e dimensionamento di alimentatori *Buck* derivati (*Forward*, *Push Pull*, *Mezzo ponte* e *ponte intero*). Analisi e dimensionamento di *flyback*

– *Componenti magnetici*: [10 ore]

Progetto di induttori e trasformatori ad alta frequenza. Scelta del nucleo con il prodotto delle aree. Scelta dei conduttori. Valutazione delle perdite

– *Circuiti ausiliari*: [4 ore]

Reti snubber. Separazione galvanica. Alimentazioni ausiliarie. Sensori di corrente. Circuiti integrati di controllo

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vertono sul progetto di semplici convertitori DC/DC e amplificatori, fino al dimensionamento completo, usando caratteristiche di componenti reali. I progetti così sviluppati sono poi simulati su calcolatore (LAIB).

## LABORATORIO

In laboratorio sono misurate le caratteristiche di componenti e di circuiti visti a lezione.

Le esercitazioni previste riguardano:

1. Misure sui diodi
2. Misura del guadagno di anello
3. Misure su *Buck* e *Buck Boost* ad anello aperto
4. Progetto, realizzazione e misura del controllo di *Buck* e *Buck Boost*
5. Misura su *Forward* e *Flyback* ad anello aperto
6. Misura su *Forward* e *Flyback* ad anello chiuso

## BIBLIOGRAFIA

Non vi è un testo di riferimento. Il corso si basa su articoli indicati dal docente. Alcuni argomenti sono trattati su dispense disponibili in copisteria.

### Testi ausiliari

Bloom, Severns, “*Modern DC-DC Switchmode Power Conversion Circuits*”, Van Nostrand Reinhold

Kassakian, Schlecht, Verghese, “*Principles of Power Electronics*”, Addison Wesley

Pressman, “*Switching Power Supply Design*”, McGraw Hill

## ESAME

Nella sessione di esame vi è un appello ogni martedì.

L'esame è costituito da uno scritto (prenotazione obbligatoria presso la segreteria di Elettronica) e da un orale.

Lo scritto consiste in un progetto simile a quelli eseguiti durante le esercitazioni in aula. La durata è di circa 3 ore.

È possibile presentarsi allo scritto e ritirarsi senza lasciare traccia.

Durante lo scritto bisogna essere muniti di calcolatrice e documentazione distribuita durante il corso, è possibile consultare libri ed appunti, non è possibile consultare i compagni, pena l'annullamento dello scritto.

L'orale ha luogo subito dopo lo scritto, lo stesso giorno o i giorni immediatamente successivi, e verte per lo più su argomenti trattati a lezione o a esercitazione in aula e ha durata media di un'ora.

Di solito l'orale consiste di due domande la cui valutazione viene mediata con lo scritto (2/3 orale, 1/3 scritto).

In caso di non superamento dell'orale il candidato può ripresentarsi all'esame (scritto e orale) al massimo solo una seconda volta nella stessa sessione, ad opportuna distanza di tempo suggerita dal docente, tipicamente maggiore o uguale a due settimane.

**L1770****Elettronica industriale di potenza**

Periodo 1 Lezione, Esercitazione o Laboratorio: 6+2 (ore settimanali)  
80+28 (ore in totale)

Docente: Franco Villata.

Il corso, a carattere applicativo, tratta i principali problemi posti dalla conversione statica alternata-continua, con particolare attenzione alle applicazioni destinate alla realizzazione di alimentatori, di azionamenti in continua, o del primo stadio di convertitori alternata-alternata.

Vi sono analizzate le principali strutture di conversione, per le quali sono trattate le sollecitazioni lato alternata, i problemi del dimensionamento termico, i filtri di potenza in uscita, il dimensionamento di massima dei componenti elettromagnetici. Sono inoltre descritte le principali architetture dei circuiti di regolazione ed i trasduttori di tensione e di corrente di più frequente impiego.

Particolare rilievo è dato agli aspetti energetici ed ai problemi posti dalla gestione di potenze anche rilevanti, promuovendo la formazione di una "mentalità" orientata alla potenza.

**REQUISITI**

*Elettrotecnica ed Elettronica Applicata.*

**PROGRAMMA**

*A. Strutture di Conversione non controllata monofase [8 ore]*

*Generalità*

- Diodo a semiconduttore
- Analisi del funzionamento di reti contenenti diodi

*Strutture monofasi*

- Convertitore semionda monofase
- Convertitore controfase
- Convertitore a ponte monofase

*B. Componenti elettromagnetici e filtri di potenza [13 ore]*

*Trasformatore di alimentazione*

- Richiami sul funzionamento del trasformatore
- Potenza di dimensionamento di un trasformatore
- Dipendenza dalle dimensioni dei parametri del trasformatore

*Filtri di potenza*

- Filtro induttivo
- Filtro capacitivo
- Filtro L C
- Circuito equivalente macchina a corrente continua

*Problemi di progetto dei componenti reattivi*

- Parametri di un condensatore elettrolitico per filtri
- Dimensionamento di massima di una induttanza
- Dimensionamento di massima di un trasformatore monofase

*C. Diodi controllati e circuiti di innesco [7 ore]**Diodi controllati*

- Costituzione fisica
- Caratteristiche esterne
- Tipi costruttivi

*Circuiti impulsatori e trasformatori per impulsi**D. Strutture di conversione controllata monofase [11 ore]**Convertitore controfase**Doppio controfase antiparallelo**Ponte monofase semicontrollato**Ponte monofase controllato**E. Strutture di conversione controllata trifase [11 ore]**Semionda trifase**Ponte trifase**F. Commutazione e problemi connessi [4 ore]**G. Dimensionamento termico delle strutture [5 ore]**Modelli termici**Dimensionamento termico di massima**Dissipatori**H. Protezioni [9 ore]**Protezioni da sovraccarichi*

- Interruttori extrarapidi e fusibili
- Condizionamenti al progetto termico

*Sovratensioni*

- Principali cause
- Protezioni più usate

*I. Sistemi di regolazione [8 ore]**Generalità sulle strutture di regolazione**Sfasatori**Regolazione ad anelli separati**Regolazione ad anelli in cascata**Doppio controllo armatura eccitazione**Regolatore per doppio convertitore antiparallelo**L. Trasduttori [4 ore]**Trasduttore di tensione quasi isolato**Trasduttori di corrente ad effetto Hall**Trasduttori di corrente che impiegano TA**Reattori saturabili**TA ad impulsi***ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni consistono nella applicazione dei metodi e delle nozioni fornite nelle lezioni per l'analisi del funzionamento od il dimensionamento di convertitori alternata-continua. Esse saranno svolte parte in aula, parte nel laboratorio informatico del Dipartimento di Ingegneria Elettrica.

## LABORATORI

I laboratori consistono nell'analisi del funzionamento di sistemi di conversione con visualizzazione delle forme d'onda di tensione e di corrente più significative: Essi saranno svolti presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria Elettrica.

## ESAME

L'esame consiste in un colloquio orale teso ad accertare l'acquisizione da parte dell'allievo dei metodi di studio e delle problematiche dei sistemi descritti nelle lezioni. I temi sviluppati nelle esercitazioni e nei laboratori possono fornire spunto per la discussione.

## BIBLIOGRAFIA-

H. Buhler, "*Traité d'Electricité*", vol. XV, "*électronique industrielle I*", "*électronique de puissance*", Georgi, Lausanne.

G. Montessori, "*Elettronica di potenza*", Delfino.

Tali testi contengono solo parte degli argomenti del corso, pur contenendo argomenti che non verranno svolti.

Anno : Periodo 2:1

Docenti: ( I Corso) Vito Daniele  
(II Corso) Roberto Graglia

## PROGRAMMA

### *I Parte:*

– *Introduzione e reti resistive* [25 ore di lezione, 12 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, 10 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 risonatori (cenni).

– *Multiporta con memoria* [2 ore di lezione, 2 ore di esercitazione]

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

– *Reti lineari dinamiche* [14 ore di lezione, 8 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, 4 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.

II Parte:

– *Metodi generali per il calcolo di reti* [3 ore di lezione, 2 ore di esercitazione]

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* [6 ore di lezione]

Caratterizzazione elettromagnetica dei multipoli e delle reti elettriche. Realizzazione di Resistori, induttori e condensatori. Realizzazione dei multiporta induttivi. Forze dovute a campi elettromagnetici. Elettrodinamica dei corpi in movimento.

– *Impianti elettrici e macchine elettriche* [9 ore di lezione]

Distribuzione dell'energia elettrica. Normativa impianti elettrici (cenni). Effetti della corrente elettrica sul corpo umano (Cenni). Relè di tensione. Interruttore automatico di massima corrente. Interruttore automatico differenziale. Dispensori. Tensioni di passo. Trasformatore reale. Circuito equivalente e misura dei parametri. Costruzione (Cenni). Sollecitazioni nelle macchine elettriche. Valori nominali e dati di targa. Trasformatori trifase. Connessioni degli avvolgimenti. 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). Principio di funzionamento di motori passo passo.

## BIBLIOGRAFIA

V.Daniele-A.Liberatore-R.Graglia-S.Manetti, "Elettrotecnica", Monduzzi Editore, Bologna, 1994.

Dispense distribuite dai docenti

### 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.

– Prova scritta comune (A e B):

Il programma che riguarda la prova scritta è relativo alla Prima parte del corso.

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

- Esame di tipo B:

L'esame di tipo B consiste in una prova scritta (vedi sopra) seguita dopo qualche giorno da una discussione sull'elaborato consegnato dallo Studente. Il voto massimo previsto per questo tipo di esame è di 28/30.

- Esame di tipo A:

L'esame di tipo A e' costituito dalla stessa prova scritta dell'esame di tipo B integrata con una parte orale che verte su tutto il Programma con particolare riferimento a quello svolto durante la seconda parte del corso. L'ammissione alla parte orale è consentita agli Allievi che abbiano ottenuto nella prova scritta un voto non inferiore ai 18/30. Il voto finale per chi sostiene l'esame di tipo A è un'opportuna media dei risultati della prova scritta e di quella orale.

**N1790****Elettrotecnica (INF) I corso**

Anno: Periodo 2:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+4+1 (ore settimanali)

Docente: Ivan Maio (Esercitatore: Riccardo Zich)

Il corso si propone di fornire le basi concettuali per la comprensione del comportamento dei circuiti elettrici a parametri concentrati, nonché metodi sistematici per la loro analisi. Il corso è organizzato in lezioni ed esercitazioni che completano, da un punto di vista applicativo, gli argomenti teorici trattati, in modo da facilitarne l'apprendimento. Nella seconda metà del periodo didattico lo studente avrà accesso al Laboratorio di Informatica di Base (LAIB), ove potrà usare un moderno programma di simulazione circuitale (PSpice).

**REQUISITI**

Per un'adeguata comprensione degli argomenti trattati, si richiede la conoscenza dei contenuti dei corsi di Analisi Matematica e Fisica.

**PROGRAMMA**

- *Generalità*: Circuiti elettrici e condizioni di applicabilità del modello circuitale. Correnti tensioni e direzioni di riferimento. Leggi di Kirchhoff. Potenza assorbita e passività. Caratteristiche e bipoli ideali.
- *Metodi di analisi elementari*: Connessioni serie e parallelo di resistori, partitori, trasformazione stella triangolo, principio di sovrapposizione, teorema di Millman, teoremi di Thevenin e Norton. Adattamento energetico. Generatori pilotati e analisi di reti con generatori pilotati.
- *Reti resistive non lineari*: Bipoli resistivi non lineari. Analisi di reti resistive con un bipolo non lineare. Circuito equivalente di piccolo segnale. Proprietà reti non lineari. Resistori lineari a tratti e reti con resistori lineari a tratti. Diodo ideale. Analisi di reti con diodi ideali.
- *Metodi di analisi generali*: Dualità. Descrizione delle reti elettriche mediante grafi. Scrittura sistematica delle equazioni di Kirchhoff. Metodo dei nodi. Matrice di incidenza. Equazioni di Kirchhoff in forma matriciale. Teorema di Tellegen. Metodo dei nodi mediante la matrice di incidenza. Metodo del Tableau sparso. Condizioni per la risolubilità delle reti resistive lineari.
- *Multipoli e multiporta resistivi*: Rappresentazioni Thevenin e Norton per multipoli/porta resistivi. Matrice di trasmissione. Trasformatore ideale. Giratore ideale. Amplificatore operazionale, modelli e connessioni.
- *Generalità sulle reti dinamiche*: Bipoli reattivi e loro connessioni. Induttori mutuamente accoppiati. Analisi di reti dinamiche con un solo condensatore (induttore). Equazioni di stato e di uscita. Ordine di una rete dinamica. Soluzione delle equazioni di stato. Frequenze naturali. Stabilità. Risposta a ingresso zero e a stato zero. Risposte all'impulso e al gradino. Convoluzione. Analisi di reti lineari a tratti con un solo condensatore (induttore).
- *Il simulatore SPICE*: Principio di funzionamento e uso.

- *Metodo simbolico*: Trasformata di Laplace unilatera. Funzioni di trasferimento, poli e frequenze naturali della rete. Calcolo simbolico ed estensione dei metodi di analisi per reti resistive al dominio s.
- *Reti in regime armonico stazionario*: Teorema fondamentale delle reti in regime armonico stazionario. Calcolo fasoriale. Risposta in frequenza, filtri e risonatori. Potenza nelle reti in regime armonico stazionario: istantanea, attiva, apparente, reattiva. Teorema di Bucherot. Rifasamento. Valori efficaci. Circuiti trifase: vantaggi tecnici ed economici, generatori, principali tipi di connessione.
- *Multipoli/porta dinamici*: Connessioni di reti a 2 porte. Matrici  $\mathbf{Z}$  e  $\mathbf{T}$  per la connessione in cascata. Relazioni tra  $\mathbf{Z}$  e  $\mathbf{T}$ . Reciprocità. Circuiti equivalenti a T e  $\Pi$ .
- *Linee di trasmissione*: Tipi di interconnessioni, analisi delle linee di trasmissione e relazioni con l'approssimazione circuitale.

### ESERCITAZIONI

1. Uso delle leggi di Kirchhoff
2. Circuiti resistivi elementari
3. Circuiti resistivi elementari: connessioni serie e/o parallelo.
4. Circuiti resistivi elementari: teoremi di Thevenin, Norton, ecc.
5. Circuiti con resistori non lineari I
6. Circuiti con resistori non lineari II
7. Circuiti resistivi, metodi generali di analisi
8. Circuiti resistivi con elementi con 2 o più porte I
9. Circuiti resistivi con elementi con 2 o più porte II
10. Connessione di L e C, condizioni iniziali,
11. Circuiti RC e RL del I ordine I
12. Circuiti RC e RL del I ordine II
13. Equazioni di stato I
14. Equazioni di stato II
15. Metodo simbolico I
16. Metodo simbolico II
17. Regime sinusoidale I
18. Regime sinusoidale II
19. Sistemi trifase
20. Doppi bipoli I
21. Doppi bipoli II

### LABORATORIO

Esecuzione di tre differenti tipi di analisi mediante il simulatore *SPICE*.

### BIBLIOGRAFIA

V. Daniele, A. Liberatore, R. Graglia, S. Manetti, "*Elettrotecnica*", Monduzzi Editore, Bologna, 1994.

M. Biey, "*Esercitazioni di elettrotecnica*", CLUT, Torino, 1988.

#### Testi ausiliari:

L.O.Chua, C.A.Desoer, E.S.Kuh, "*Linear and nonlinear circuits*" McGraw-Hill, 1987.

M. Biey, "*Spice e PSpice: introduzione all'uso*", CLUT, Torino, 1993.

#### ESAME

L'esame consiste in una prova scritta di durata opportuna, seguita dopo qualche giorno da una discussione dell'elaborato consegnato dallo studente e da un'eventuale prova orale. La prova scritta verte su **tutto** il programma svolto nelle lezioni e nelle esercitazioni e consiste nel rispondere a:

- (a) un gruppo di quesiti elementari, volti a valutare l'apprendimento delle conoscenze di base della teoria dei circuiti;
- (b) un gruppo di domande di varia difficoltà, diretto a valutare il grado di approfondimento raggiunto nell'apprendimento della materia.

Anno: Periodo 1:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio(a turni di 1/8 di corso): 6+2+4 (ore settimanali)

Docenti: (I corso) Ottavia Borello  
 (II corso) Giovanni Barbero  
 (III corso) Alfredo Strigazzi  
 Collab. : Anna Ceresole

Il corso consta di cinque capitoli. Quello introduttivo è dedicato alla metrologia, dando un'idea generale della misura, della sua incertezza intrinseca ed un panoramica sul lato statistico. Il secondo capitolo tratta gli elementi dell'analisi vettoriale che sono necessari a descrivere le proprietà dei campi conservativi. La terza parte concerne la meccanica delle particelle classiche ed i sistemi di particelle, utilizzando sia l'approccio energetico che quello cardinale. Il quarto capitolo è dedicato alla descrizione del campo elettrostatico confrontato con quello gravitazionale, tenendo anche conto di diverse distribuzioni di carica e le proprietà dei conduttori nel vuoto ed in condizione di equilibrio. L'ultima parte tratta dell'ottica geometrica, partendo dal principio di Fermat e descrivendo le proprietà degli specchi e delle lenti sottili.

Totale ore di lezione [80 ore]

#### PROGRAMMA

Metrologia: [7 ore]

- Misurazione (diretta e indiretta), misura e incertezza (assoluta e relativa). Sensibilità e precisione. Grandezze fondamentali e derivate. Sistemi di unità di misura. Sistema Internazionale. Analisi dimensionale. Propagazione dell'incertezza in misurazioni indirette [Cfr. 5]. Metodo dei minimi quadrati [Cfr. 2]

Analisi vettoriale: [5 ore]

- Prodotto scalare e vettoriale. Riferimenti e rappresentazioni di vettori. Matrice delle rotazioni. Convenzione della somma. Delta di Kronecker. Operatore d'inversione. Vettori e pseudo-vettori. Doppio prodotto vettoriale. Nabla (o del) in coordinate cartesiane. Campi. Gradiente. Divergenza. Rotore [Cfr. 3,5]

Meccanica: [50 ore]

- Cinematica del punto: Moto rettilineo e curvilineo. Velocità (scalare e vettoriale). Accelerazione. Componenti intrinseche. Moti ad accelerazione non costante. Velocità e accelerazione angolari. Riferimenti inerziali e non. Relatività galileiana. Moto relativo: regole di composizione delle velocità e delle accelerazioni [Cfr.4]
- Dinamica del punto: Forza, massa, quantità di moto. Le tre leggi di Newton. I equazione cardinale in riferimenti inerziali. Interazioni: gravitazionale, elettrostatica, elastica. Vincoli e attrito radente (statico e dinamico). Attrito del mezzo (viscoso e idraulico). Forze d'inerzia (pseudo-forze) di trascinamento e di Coriolis. Campo di forze. Teorema dell'impulso. Lavoro. Potenza. Teorema lavoro-energia cinetica in riferimenti inerziali e non
- Statica del punto

- Campi conservativi: Vettore intensità di campo. Circuitazione. Potenziale ed energia potenziale (e loro gradiente). Conservazione dell'energia meccanica. Teorema di Stokes. Generalizzazione della conservazione dell'energia. Campi centrali. Forze elastiche. Legge di Gauss per campi gravitazionale e coulombiano. Teorema della divergenza (o di Gauss)
- Oscillazioni: Moto armonico semplice. Moto armonico smorzato. Oscillazioni forzate. Risonanza. Pendolo anarmonico [Cfr.6]
- Dinamica dei sistemi: Momento statico. Centro di massa. Quantità di moto. I equazione cardinale. Impulso. Teorema dell'impulso. Conservazione della quantità di moto. Urti elastici e anelastici. Moto classico con massa variabile. Cinematica rotazionale. Momento di una forza. Baricentro. Coppia di forze. Momento di una coppia. Dinamica rotazionale. Momento angolare. II equazione cardinale. Teorema dell'impulso del momento. Conservazione del momento angolare. Teorema di König per l'energia cinetica e per il momento angolare. Momento d'inerzia. Teorema di Huygens - Steiner. Rotazione di corpo rigido attorno a un asse fisso. Rototraslazione. Matrice d'inerzia. Elissoide d'inerzia. Assi principali d'inerzia. Moti giroscopici [Cfr.6]. Gravità. Leggi di Keplero
- Statica dei sistemi
- Meccanica dei fluidi: Pressione. Legge di Stevino in forma integrale e in forma differenziale. Legge di Archimede. Equazione di continuità in forma integrale e in forma differenziale. Teorema di Bernoulli. Viscosità. Effetto Magnus

Ottica geometrica: [4 ore]

- Riflessione e rifrazione. Principio di Fermat. Approssimazione parassiale (o di Gauss). Specchio sferico. Diottra. Prismi. Lenti sottili

Elettrostatica nel vuoto: [14 ore]

- Campo e potenziale di una carica, di una distribuzione statica di cariche e di un dipolo. Dipolo in un campo elettrico costante. Interazione tra due dipoli. Moto di una carica in un campo elettrico. Equazione di Poisson e di Laplace. Capacità. Conduttori in equilibrio. Teorema di Coulomb. Condensatori in serie e in parallelo. Energia del campo elettrostatico

## LABORATORIO

Misurazione di spostamenti, velocità e accelerazione di gravità per un corpo in caduta libera. Misurazione del periodo di oscillazione del pendolo semplice in funzione della lunghezza del filo e dell'ampiezza di oscillazione. Misurazione dell'indice di rifrazione del vetro con il metodo del prisma in condizione di deviazione minima

## BIBLIOGRAFIA

Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci, "Fisica (Meccanica + Elettrostatica e Ottica geometrica)", SES, Napoli 1992

D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, "Fondamenti di Fisica", CEA, Milano, 1995

### Testi ausiliari

R. Resnick, D. Halliday, K. S. Krane, "Fisica I", CEA, Milano, 1993

J.R. Taylor, "Introduzione all'analisi degli errori", Zanichelli, Bologna, 1990

C. Mencuccini, V. Silvestrini, "Fisica", Liguori, Napoli, 1987

M. Alonso, E. J. Finn, "Elementi di Fisica per l'Università", Vol. I, Masson-Addison Wesley, Milano, 1982

G. Lovera, B. Minetti, A. Pasquarelli, "Appunti di FISICA I", Torino, 1982

AAVV, "La Fisica di Berkeley", Zanichelli, Bologna

G.A. Salandin, "Problemi di Fisica", Ambrosiana, Milano, 1986

## ESAME

- L'esame consta di una prova orale che si svolge dopo che il docente ha acquisito vari elementi di giudizio (fra i quali: l'esito di una prova scritta e le relazioni di laboratorio)
- La prova scritta consta di tre esercizi che possono riguardare ogni argomento trattato durante il corso. Gli interessati devono portare con sé il libretto
- La prova scritta superata in uno dei tre appelli della sessione estiva vale come *esone-ro* da ogni scritto successivo, fino all'appello di maggio dell'anno successivo. Nel senso che: se è stata superata con una votazione  $\geq 18/30$ , la prova orale può essere sostenuta in un qualunque appello a partire da quello in cui si è svolta la prova scritta stessa entro il primo giugno dell'anno successivo. Superato tale limite, senza aver sostenuto l'esame orale con esito positivo, la prova scritta deve essere ripetuta. Nel limite temporale indicato, la validità della prova scritta (sostenuta in uno dei tre appelli della sessione estiva) continua a permanere anche nel caso di non superamento della prova orale
- La validità di ogni altra prova scritta, superata con votazione  $\geq 18/30$ , è limitata alla sessione nella quale si è svolta
- Durante la prova scritta non è possibile consultare **nè** libri, **nè** appunti.
- La prenotazione all'esame è obbligatoria. Sugli appositi elenchi, che verranno affissi almeno una settimana prima dell'appello nella bacheca del corso, nell'ingresso del Dip. di Fisica, lo studente dovrà apporre il proprio cognome e nome con la dizione: **S**: solo scritto, **O**: solo orale, **S + O**: scritto e orale
- Gli studenti esonerati dallo scritto devono in ogni modo presentarsi nella data e nell'ora stabilita per l'appello
- Lo statino deve essere presentato all'atto di sostenere la prova orale

**F1902-L1902-N1902****Fisica II**

Anno: Periodo 2:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 6+2+2 (ore settimanali)

Docenti: (I corso) Bruno Minetti

(II corso) Marco Omini

(III corso) *da nominare*

Collab.: Renato Gonnelli, Michelangelo Agnello

**REQUISITI**

*Fisica I, Analisi I, Geometria*

**PROGRAMMA**

Dielettrici: [4 ore]

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

Correnti elettriche e circuiti termoelettrici: [8 ore]

- Relazioni generali tra correnti termiche ed elettriche e campo elettrico e gradiente termico. Legge di Ohm. Effetto Peltier. Effetto Seebeck. coppie termoelettriche. Campo elettromotore di una pila. Resistenza interna di una pila. Carica e scarica di un condensatore. Leggi di Kirchhoff per un circuito a parametri concentrati. Effetto Joule

Campi magnetici indipendenti dal tempo: [10 ore]

- Dipoli magnetici. Campi  $H$ ,  $B$ ,  $M$ , Principio di Ampère. Circuitazione del campo magnetico. Legge di Biot e Savart. Campo prodotto da un solenoide indefinito. Prima e seconda formula di Laplace. Forza di Lorentz. Moto ciclotronico. Spettrometri di massa. Galvanometro. Bilancia delle correnti. Ponte di Weathstone. Voltmetri ad assorbimento di corrente. Potenzimetro. Galvanometro balistico. Elettromagneti. Magnet permanenti

Campi magnetici dipendenti dal tempo: [4 ore]

- Legge di Faraday. Lenz. Misura del campo  $B$ . Densità d'energia del campo magnetico. Misura delle suscettività magnetiche. Induttanze, circuiti  $R$ ,  $L$ ,  $C$ .. Induttanza di un cavo coassiale. Circuito risonante. Mutua induttanza

Onde: [10 ore]

- Equazioni di Maxwell e corrente di spostamento. Onde elettromagnetiche. lunghezza d'onda. Propagazione in mezzi dispersivi. Vettore di Poynting. Densità di energia del campo elettromagnetico. Velocità di gruppo. Rifrazione e riflessione di onde elettromagnetiche piane. Legge di Snell. Spettroscopio a prisma. Formule di Fresnel. Angolo di Brewster. Angolo limite e riflessione totale.

Interferenza e diffrazione: [8 ore]

- Interferenza fra onde. Sorgenti coerenti e incoerenti. Lamine sottili piano parallele. Lamine sottili a cuneo. Interferometri. Misura di una lunghezza d'onda. Teoria della diffrazione o con la formulazione di Kirchoff o con il principio di Huygens. Frensel. Diffrazione di Fraunhofer. Limiti dell'ottica geometrica. Reticolo di diffrazione e suo potere risolutivo

Propagazione della luce in mezzi anisotropi: [4 ore]

- Assi principali di polarizzazione in un cristallo. Ellissoide degli indici e sue proprietà. Cristalli uniassici. Onde ordinarie e straordinarie. Prisma di Nicol. Lamina a quarto d'onda

Fondamenti della meccanica quantistica: [4 ore]

- Dualismo particella. onda. Principio di indeterminazione. Descrizione probabilistica dello stato quantistico di un sistema. Postulati fondamentali della meccanica quantistica. Equazione di Schrodinger. Particella in una scatola parallelepipedica. Densità degli stati permessi. Corpo nero. Legge di Wein. Legge di Stefan. Boltzmann

Primo principio della termodinamica: [8 ore]

- Equilibrio statico. Distribuzione di Boltzmann. Definizione statica della temperatura. Principio zero della termodinamica. Termometro a gas a volume costante. Quantità di calore. Calorimetro di Bunsen. Principio di equivalenza tra calore e lavoro. Esperimento di Joule. Trasformazioni termodinamiche reversibili ed irreversibili. Capacità termiche e calori specifici. Calori latenti. Principio di equipartizione dell'energia. Adiabatiche reversibili di un gas perfetto. Equazione di Wan der Waals. Isoterme di un fluido reale. Punto critico. Tensione di vapore saturo. Ebollizione

Secondo e terzo principio: [10 ore]

- 2° principio della termodinamica. Macchine termiche reali e macchine di Carnot. Teorema di Carnot. Scala termodinamica delle temperature. Zero assoluto. Macchine frigorifere e pompe di calore. Disuguaglianza di Clausius. Teorema di Clausius. Accrescimento dell'entropia in trasformazioni adiabatiche irreversibili. entropia e disordine. Equazione dell'energia. Equazione di Clapeyron. 3° principio della termodinamica

Teoria microscopica dei materiali magnetici: [4 ore]

- Descrizione del diamagnetismo. Teoria microscopica del diamagnetismo. Precessione di Larmor. Paramagnetismo. Funzione di Langevin. Ferromagnetismo. Campo di Weiss. Interazione di scambio. Temperatura di Curie. Ciclo di isteresi e sua caratterizzazione sperimentale

## LABORATORIO

1. misura di resistenza mediante ponte di Wheatstone e misura di temperatura con sensore PT100
2. studio delle oscillazioni forzate in un circuito RLC mediante uso di oscilloscopio e generatore di segnali, e simulazioni al calcolatore di transistori in circuiti RC e RLC
3. misura di lunghezza d'onda della luce mediante reticolo di diffrazione e misura di indice di rifrazione mediante luce polarizzata e angolo di Brewster (con sensore a fotodiode)
4. misura della diffusività termica di un provino metallico

## BIBLIOGRAFIA

Blum-Roller, "Fisica", Zanichelli

C. Mencuccini, V. Silvestrini, "Fisica", Liguori, Napoli, 1987

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

G. Lovera, R. Malvano, B. Minetti, A. Pasquarelli, "*Calore e termodinamica*", Levrotto & Bella, Torino

#### ESAME

L'esame consta di una prova orale, che si svolge dopo che il docente ha acquisito vari elementi di giudizio sullo studente, tra cui l'esito di un compito scritto e le relazioni di laboratorio

Lo studente può presentarsi allo scritto in un appello qualunque, e ripeterlo quante volte vuole

Se il voto di uno scritto è  $\geq 18/30$ , la sua validità potrà essere estesa eventualmente fino alla fine dell'anno in corso, a giudizio del docente

Studenti che non abbiano sostenuto lo scritto o comunque non abbiano ottenuto un voto superiore ai 10/30 sono fortemente sconsigliati di presentarsi all'esame

Non è garantito alcun minimo intervallo di tempo tra la prova scritta e la prova orale

## F1940                      Fisica dei laser

Anno: Periodo 5:2    Lezione: 8 (ore settimanali)

Docente: Mario Vadacchino

### REQUISITI

*Fisica II, Istituzioni di Meccanica Quantistica*

### PROGRAMMA

- Rassegna delle tecniche di studio della dinamica dei fenomeni quantistici e dell'operatore densità. L'operatore densità di un sistema a due livelli e del bagno termico. L'operatore densità ridotto. L'equazione di Liouville. Le matrici di Pauli ed i sistemi a due livelli.
- Stati coerenti: definizione, proprietà e realizzazione. Funzioni di operatori di creazione ed annichilazione; tecniche operatoriali e trasformazioni che utilizzano gli stati coerenti.
- Principi di meccanica stocastica, equazione di Fokker-Planck. Utilizzo degli stati coerenti nell'analisi dei fenomeni quantistici. Esempi vari: l'operatore parametrico ottico (OPO) ed il miscelatore a quattro onde.
- descrizione quantistica della dinamica di un sistema in interazione con il bagno termico; *Master Equation*.
- Stati *Squeezed*: definizione, proprietà e realizzazione.
- Interazione Atomo-Radiazione: l'emissione spontanea a quella stimolata. Il coefficiente di Einstein.
- Le equazioni di *rate* per un sistema a due livelli. Teoria semiclassica del laser: l'equazione di Maxwell-Bloch. Soluzioni elementari ed analisi di stabilità. Un caso quantistico: il modello di Jaynes-Cummings.
- Equazioni di *rate* per i laser a tre e quattro livelli. I laser a stato solido: rubino, Nd:YAG, Nd:vetro, semiconduttori. I laser a gas: He-Ne,  $\text{CO}_2$ , Argon. I *dye* laser. Comportamento dinamico dei laser: analisi di stabilità lineare.
- Statistica dei fotoni. Le funzioni di correlazione. Teoria semiclassica della coerenza ottica. Distribuzioni *bunched* e *antibunched*. L'esperimento di Handbury-Brown-Twiss e quello di Arecchi.
- La misura in meccanica quantistica: definizione e problemi. La misura di una forza classica ed il limite *standard* quantistico. Le misure *back action evading*.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni, di carattere prevalentemente teorico, consisteranno nello sviluppo approfondito di applicazioni.

### BIBLIOGRAFIA

Appunti delle lezioni del docente.

W.H. Louisell, "*Quantum Statistical Properties of Radiation*" Wiley, New York, 1973.

M. Sargent, M.O. Scully, W.E. Lamb jr., "*Laser Physics*", Addison-Wesley, Reading, 1973.

**ESAME**

L'esame consisterà nella redazione di una tesina scritta riguardante l'analisi di un lavoro scientifico relativo agli argomenti svolti nel corso ed in una esposizione orale dello stesso lavoro.

## E1994 Fisica delle superfici (r)

Anno: Periodo 5: 2 Lezione: 4 (ore settimanali)

Docente: Elena Tresso

Il corso si propone di fornire agli allievi una panoramica dei moderni problemi di fisica delle superfici, delle interfacce e dei processi di chemisorbimento. La fase di superficie viene presentata come una fase ben distinta della materia e ne vengono analizzate le principali proprietà chimiche, strutturali, elettroniche e ottiche. Inoltre, dal punto di vista metodologico, si intende presentare una descrizione operativa di alcune tecniche sperimentali e teoriche di largo uso in fisica delle superfici, ma del tutto trasferibili in altri contesti.

### REQUISITI

*Fisica 1 e 2, Struttura della Materia.*

### PROGRAMMA

- Introduzione alla fisica della Superfici; le cause e le conseguenze di una sperimentazione in ultra alto vuoto (UHV); metodi per la preparazione di superfici "pulite"; tecnologia UHV. [6 ore]
- Analisi chimica, individuazione delle speci atomiche superficiali con tecniche spettroscopiche (AES, SIMS). [4 ore]
- Proprietà morfologiche e strutturali di superfici e interfacce; approccio termodinamico al problema delle superfici; tensione superficiale; rilassamento, ricostruzione e difetti; celle e reticoli bidimensionali; metodi di indagine dello spazio reciproco (LEED, RHEED) e dello spazio diretto (SEM, STM); modelli strutturali delle interfacce solido/solido. [10 ore]
- Stati elettronici di superficie; teoria delle bande unidimensionale e tridimensionale; spettroscopia di fotoelettroni; metalli, semiconduttori covalenti e polari. [6 ore]
- Struttura elettronica delle superfici covalenti Si(100), Si(110), Si(111) non ricostruite. Principi che regolano il fenomeno di rilassamento e ricostruzione, ruolo dei dangling bonds. Ricostruzioni Si(111)  $2 \times 1$  e  $7 \times 7$ , Si(100)  $2 \times 1$ . *Screening* e trasferimento di carica nei semiconduttori polari. Struttura elettronica della superficie neutra GaAs(110), ideale e rilassata. Superfici polari ricostruite GaAs(100) e (111). [6 ore]
- Proprietà ottiche: riflessione e rifrazione; eccitazioni elementari: eccitoni e plasmoni, fononi di superficie. [6 ore]
- Assorbimento sulle superfici solide; fisisorbimento e chemisorbimento. Chemisorbimento di metalli su semiconduttori: la giunzione metallo-semiconduttore. Desorbimento, reazioni superficiali, catalisi e crescita cristallina. [6 ore]
- Crescita di film sottili amorfi e microcristallini. [6 ore]

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

**BIBLIOGRAFIA**

H.Luth , "*Surfaces and Interfaces Physics*", Springer&Verlag

**Testi ausiliari:**

A.Zangwill , "*Physics at Surfaces*", Cambridge University Press

M. Prutton , "*Surface Physics*", Clarendon Press, Oxford.

**ESAME**

L' esame consiste in una prova orale, suddivisa in due parti:

- una lezione di 25-30 minuti su un argomento scelto dal candidato;
- alcune domande su argomenti svolti durante il corso.

Anno: Periodo 4:2 Lezione: 8 (ore settimanali)

Docente: Alberto Tagliaferro

Il corso si propone di fornire agli allievi gli strumenti per la comprensione delle proprietà della materia nel suo stato solido. Vengono sviluppate le varie approssimazioni ed i concetti appresi sono utilizzati per analizzare alcuni tipi di materiali e le loro proprietà.

#### REQUISITI

È richiesta la conoscenza dei fondamenti della meccanica quantistica.

#### PROGRAMMA

- *Gas di Elettroni*: Gas di Fermi: Condizioni al contorno di Born-Von Karmann - Livello di Fermi e potenziale chimico - Densità di stati elettronici - Calore specifico - Gas di Fermi bidimensionale. Effetti dell'interazione elettrone-elettrone: Interazione Coulombiana - Interazione di Pauli - Modello di Hartree - Modello di Hartree-Fock, determinante di Slater ed interazione di scambio - *Screening*: modello di Fermi e modello di Lindhard - Quasiparticelle [12 ore]
- *Modello di Bloch*: Hamiltoniana completa di un solido: energie cinetiche e di interazione - Approssimazioni: adiabatica, reticolo statico. Reticoli cristallini: Cella di Wigner-Seitz - Struttura cristallina: reticolo + base - Reticolo reciproco - Zona di Brillouin. Modello di Bloch: Potenziale periodico - Teorema di Bloch - Elettroni liberi ed elettroni "di Bloch": analogie e differenze - Superficie di Fermi - Struttura a bande - Densità di stati - Teorema della massa efficace - Effetti del potenziale periodico: *gap* di energia [10 ore]
- *Metodi di Calcolo della Struttura a bande*: Teoria delle perturbazioni - Metodo variazionale - *Tight binding* - Equazione secolare del T.B.; overlap - Il metodo OPW - Lo pseudopotenziale - Effetto repulsivo dello pseudopotenziale - Metodo Car-Parrinello [10 ore]
- *Proprietà di trasporto*: Moto semiclassico in campi e.m.: Ipotesi - Equazioni del moto - Lacune - Corrente di elettroni e di lacune - Il tensore massa efficace. Processi di *scattering*: Sorgenti di *scattering* - Probabilità di *scattering* e tempo medio fra le collisioni - Equazione di Boltzmann - Approssimazione del tempo di rilassamento: ipotesi - Calcolo della distribuzione di equilibrio - "Momento del cristallo" e sua conservazione. Proprietà dei materiali: Conducibilità elettrica in DC ed AC - Conducibilità termica (relazioni di Onsager, legge di Wiedemann-Franz) - Potere Termoelettrico - Effetti Peltier e Thomson [10 ore]
- *Fononi*: Effetti del reticolo ionico mobile: Approssimazione armonica - Modi normali, seconda quantizzazione e fononi: fononi acustici e fononi ottici; polarizzazione trasversale e longitudinale - Misura della relazione di dispersione. Teoria del calore specifico: Fononi e distribuzione di Bose - Calore specifico: definizione ed osservazioni sperimentali - Modelli di Debye e di Einstein - Densità di stati fononici e teoria del calore specifico [10 ore]

- *Effetti di ordine superiore*: Anarmonicità ed effetti di interazione fonone-fonone: Proprietà del cristallo "armonico" non riscontrabili nell'osservazione - Processi di urto fra fononi - Processi "umklapp" e conducibilità termica - Resistività nei metalli a bassa T: legge  $T^5$  di Bloch. Effetti dell'interazione elettrone-fonone: Variazione degli autovalori dell'hamiltoniana - Screening ionico dell'interazione elettrone-elettrone - Interazione attrattiva elettrone-elettrone, mediata dai fononi [10 ore]
- *Tecniche di analisi e visite ai laboratori*: Spettrometrie: UPS, PDS, Visibile, Infra-rossa, Raman, Fotoluminescenza - Misure di calori specifici e conducibilità termiche a  $T < 10$  K - Diffrazione di: neutroni, raggi X - EELS (cenni) [18 ore]
- *Saranno inoltre svolti alcuni dei seguenti argomenti monografici*: Proprietà magnetiche della materia. Superconduttori. Semiconduttori cristallini ed amorfi. Proprietà ottiche della materia. Fenomeni di superficie. Proprietà elastiche e difetti reticolari. Cristalli liquidi [20 ore]

## ESERCITAZIONI

Esercizi sui vari argomenti saranno svolti durante le ore di lezione.

## LABORATORIO

Sono previste visite a laboratori di ricerca attivi sia presso il Dip. di Fisica che presso altri centri di ricerca in città.

## BIBLIOGRAFIA

Ashcroft & Mermin, "*Solid State Physics*", Saunders Ed.

### Testi ausiliari

Ibach & Luth, "*Solid State Physics*", Springer & Verlag

Kittel, "*Introduzione alla Fisica dello Stato Solido*", Boringhieri

Myers, "*Introductory Solid State Physics*", Taylor & Francis

## ESAME

L'esame consiste in una prova orale, suddivisa in due parti:

1. una lezione di 25-30 minuti su un argomento scelto dal candidato
2. alcune domande su argomenti svolti durante il corso

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio:4+2+2 (ore settimanali)

Docente: Nicola Bellomo

Le finalità principali che il corso di Fisica Matematica si pone sono i seguenti:

Fornire agli studenti le conoscenze fondamentali di modellizzazione matematica per i sistemi dell'ingegneria con particolare attenzione (ma non solo) ai modelli dell'ingegneria elettronica. Quindi illustrare i principi di classificazione dei modelli ed i principi di validazione di questi.

Fornire agli studenti un quadro complessivo dei modelli matematici delle scienze applicate.

Fornire agli studenti i criteri di formulazione matematica dei problemi con particolare attenzione ai problemi al valore iniziale e/o al contorno per equazioni alle derivate parziali.

Fornire agli studenti gli strumenti fondamentali, analitici e computazionali, per la soluzione di problemi nonlineari, diretti ed inversi, generalmente per equazioni alle derivate parziali, relativi all'analisi di modelli delle scienze applicate. L'analisi si rivolge a problemi diretti ed inversi, deterministici e stocastici.

#### PROGRAMMA

Il Corso si articola in quattro moduli dei quali due moduli risultano orientati allo studio di modelli matematici e due allo studio di metodi matematici.

- I Modulo: Metodi di modellizzazione - Classificazione modelli - Problemi di validazione dei modelli - Modelli discreti e modelli elementari di sistemi continui
- II Modulo: Modelli idrodinamici - Modelli sistemi elettromagnetici - Modelli superconduttori - Modelli semiconduttori - Modelli cinetici - Modelli per sistemi biologici - Modelli sistemi sociali
- III Modulo: Introduzione all'analisi funzionale - Metodi di collocazione e interpolazione - Metodi di approssimazione - Soluzione di equazioni alle derivate parziali nonlineari con metodi di collocazione e approssimazione spettrale - Metodi alle differenze finite - Soluzione di equazioni integro-differenziali
- IV Modulo: Metodi di decomposizione dei domini - Soluzione di problemi inversi - Soluzione di problemi con parametri aleatori

Le lezioni si rivolgono all'illustrazione dei contenuti descritti al punto precedente. A ciascun modulo verranno dedicate circa 15 ore. Le lezioni sono condotte in parallelo per il primo e terzo modulo e quindi per il secondo e terzo modulo.

#### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni parte in aula e parte al LAIB sono finalizzate alla trattazione, in un rapporto scritto, di un modello specifico e quindi dello studio di problemi matematici relativi all'analisi del modello stesso.

L'esercitazione comprende la gestione di alcuni programmi scientifici per la soluzione di problemi al valore iniziale ed al contorno. Tali programmi si riferiscono alla applicazione di metodi di collocazione, alle differenze finite, metodi di decomposizione dei

domini e metodi di soluzione di equazioni integrali. L'analisi è generalmente rivolta allo studio di problemi nonlineari.

#### MATERIALE FORNITO AGLI STUDENTI

Disco con *Files* Programmi Scientifici. I programmi si riferiscono ai seguenti problemi:

1. Problemi di interpolazione e approssimazione superfici
2. Integrazione numerica sistemi equazioni alle derivate ordinarie (nonlineari) con metodi espliciti e impliciti
3. Integrazione numerica sistemi di equazione alle derivate parziali (nonlineari) con metodi spettrali e metodi di collocazione
4. Soluzione di alcuni problemi inversi
5. Integrazione di sistemi di equazioni (nonlineari) integro-differenziali

#### BIBLIOGRAFIA

Appunti delle lezioni in fotocopia

N. Bellomo e L. Preziosi, *Modelling, Mathematical Methods and Scientific Computation*, CRC Press, Boca Raton, 1994

N. Bellomo, Z. Brzezniak, L. de Socio, *Nonlinear Stochastic Problems in Applied Sciences*, Kluwer, Amsterdam, 1992

#### ESAME

L'accertamento finale si basa sulla discussione relativa alla dissertazione scritta relativa alla trattazione e applicazione dei moduli 1 e 3 e su un colloquio che verte sui moduli 2 e 4.

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione: 4+2 (ore settimanali)

Docente: Ernesto Arri

Il corso intende essere propedeutico ai corsi specialistici di misure elettriche ed elettroniche. Presentate le organizzazioni che operano nell'ambito attuale della normativa e della certificazione dei prodotti per garantirne la qualità, vengono illustrati, oltre all'impianto dell'odierna metrologia delle grandezze elettromagnetiche, i fondamenti teorici e pratici della moderna scienza delle misure. Gli oggetti e i fenomeni misurabili, le operazioni da compiere, i metodi e i mezzi tecnici impiegati, la conversione delle letture nelle misure, la valutazione delle incertezze per individuare la riferibilità degli strumenti e la compatibilità dei risultati sono introdotti in modo operativo seguendo una metodologia unitaria valida per qualsiasi grandezza suscettibile di misurazione. Le esercitazioni in aula consistono in esemplificazioni pratiche e applicazioni di tipo numerico e grafico degli argomenti trattati in lezione.

### REQUISITI

*Elettrotecnica, Elettronica applicata*

### PROGRAMMA

*Organizzazione per la qualità dei prodotti*

- Garanzia di qualità dei prodotti e dei servizi. 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.
- Norme per prodotti e servizi. Certificazione di conformità alle norme.. Organismi metrologici, normativi, di accreditamento e di certificazione internazionali, europei, comunitari e nazionali.

*Fondamenti di teoria della misurazione*

- Livelli del processo conoscitivo sperimentale. Caratterizzazione, classificazione, ordinamento, misurazione.
- Fenomeni fisici e relativi modelli. Relazioni funzionali. Grandezze misurabili. Costanti universali.
- Unità di misura. Sistemi di unità. Unità di base e derivate.
- Cenni storici sulla evoluzione dei sistemi di unità.. Sistema Internazionale di Unità (SI).

*Metrologia delle grandezze elettromagnetiche*

- Importanza attuale delle misure elettromagnetiche. Misurazione di grandezze qualsiasi mediante trasduzione in grandezze elettromagnetiche
- Successive fasi operative per la disponibilità delle unità SI elettromagnetiche: definizione, realizzazione, riproduzione, mantenimento e disseminazione.

- Realizzazioni dell'ampere, del farad, dell'ohm e del volt. Riproduzione del volt (effetto Josephson), dell'ohm (effetto Hall quantico) e del tesla (rapporto giromagnetico del protone). Mantenimento del volt, dell'ohm e del farad.

#### *Misurazione e misura*

- 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.

#### *Dispositivi e sistemi 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.
- Rassegna critica dei componenti fondamentali di un dispositivo per misurazione: sensori attivi e passivi, trasduttori elettromeccanici ed elettrotermici, condizionatori, amplificatori di misura, filtri, convertitori, campionatori, attuatori, visualizzatori, tubi a raggi catodici, microprocessori.
- Rassegna critica dei principali strumenti analogici e numerali: amperometri, voltmetri, ohmmetri, multimetri, wattmetri, contatori d'energia, rivelatori, rivelatori sincroni, trasformatori di misura (TA e TV), registratori, oscillografi, generatori di funzioni, analizzatori di segnali, frequenzimetri, strumenti "intelligenti", "strumenti "virtuali". Principali dispositivi per confronto: comparatori, potenziometri, ponti, impedenziometri.
- 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.

#### *Valutazione delle 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.
- Richiami 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.

## ESERCITAZIONI

1. Esercizi su regole di scrittura relative al sistema SI.
2. Esercizi su cifre significative e riporto in diagrammi di risultati di misura.
3. Esercizi su compatibilità di più misure di un parametro nello stesso stato o in stati diversi.
4. Valutazione delle incertezze nelle misurazioni eseguite in laboratorio.
5. Visione sezionata e/o esplosa di campioni materiali e strumenti analogici e numerali.
6. Esame critico di norme su strumenti elettrici ed elettronici.
7. Interpretazione critica di manuali d'istruzione, cataloghi e certificati di taratura di strumenti.
8. Elaborazione di risultati in misurazioni dirette e indirette.
9. Stesura di certificati e diagrammi di taratura di strumenti.
10. Misurazioni dimostrative nei laboratori dei Settori Tempo-Frequenza, Metrologia Elettrica, Fotometria e Acustica dell'Istituto Metrologico Primario IEN.
11. Misurazioni dimostrative nei laboratori delle Sezioni Lunghezze, Masse-Volumi, Termometrica e Dinamometrica dell'Istituto Metrologico Primario IMGC.

## BIBLIOGRAFIA

E. Arri, S. Sartori, "*Le misure di grandezze fisiche*", Paravia, Torino, 1984.

Norma UNI 4546, "*Misure e misurazioni. Termini e definizioni fondamentali*", 1984.

**Testi ausiliari**

P. Galeotti, "*Elementi di probabilità e statistica*", Levrotto & Bella, Torino, 1983.

Norma UNI-CEI, "*Guida all'espressione dell'incertezza nelle misurazioni*", 1996.

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.

Norma UNI 10003, "*Sistema Internazionale di Unità (SI)*", 1984.

Documenti di aggiornamento sui vari argomenti sono forniti durante le lezioni e le esercitazioni.

## ESAME

La prova d'esame è orale.

## F2170-L2170-N2171 Fondamenti di informatica I

Anno: Periodo 1: annuale Lezione, Laboratorio: 3+2 (ore settimanali)

Docenti: (I corso) Adriano Valenzano

(II corso) Elio Piccolo

(III corso) Pietro Laface

Il corso intende presentare agli allievi gli elementi fondamentali dell'informatica sia dal punto di vista *hardware* sia da quello *software*. Particolare rilievo viene attribuito ai principi ed alle tecniche di programmazione utilizzando come riferimento il linguaggio C. Vengono inoltre fornite nozioni introduttive sulla struttura degli elaboratori e sulla rappresentazione dell'informazione al loro interno.

### PROGRAMMA

*Parte I* (circa 40% del corso):

- Rappresentazione dell'informazione: rappresentazioni dei numeri in sistemi a base intera, conversione di base, rappresentazione dei numeri con segno, rappresentazioni in virgola fissa e virgola mobile
- Operazioni aritmetiche nel sistema binario
- Operazioni algebriche nelle diverse rappresentazioni
- Codici binari (BCD, ASCII, Gray etc.)
- Algebra di Boole, funzioni logiche, teoremi fondamentali
- Struttura del calcolatore (parti funzionali, cenni tecnologici, classificazione, cenni sulla misura delle prestazioni)
- Funzionamento del calcolatore, linguaggio macchina
- Unità periferiche, tecnologie e prestazioni (dischi magnetici e ottici, nastri, dispositivi di presentazione e *display*, stampanti, *plotter*, mouse, tavolette, *scanner*)
- Linguaggio assembler (cenni), linguaggi di alto livello, compilatori, interpreti
- Sistemi operativi, multiprogrammazione, sistemi *real-time*, sistema MS-DOS

*Parte II* (circa 60% del corso):

- Strutture informative fondamentali (tabelle, *stack*, *code*, ...)
- Tecniche di programmazione, linguaggio C, sviluppo di programmi in C
- Algoritmi elementari fondamentali (*sort*, *merge*,...)

### LABORATORIO

1. Esercizi sul sistema MS-DOS
2. Esercizi di programmazione in linguaggio C

### BIBLIOGRAFIA

- P. Demichelis, E. Piccolo, *Introduzione all'Informatica in C*, McGraw-Hill, Milano.  
 B. W. Kernigham, D. M. Ritchie, *The C Programming Language*, (II edizione) Jackson Libri Italia, Milano.

### Testi ausiliari

- A. Valenzano, *Fondamenti di Informatica: lucidi*, CLUT, Torino.  
 L. Farinetti, E. Piccolo, *Il manuale del Laboratorio di Informatica*, CLUT, Torino.

C. Chesta, *'Esercizi di programmazione in C'*, CLUT, Torino.

G. Cabodi, S. Quer, M. Sonza Reorda, *'Introduzione alla programmazione in C'*, Hoepli, Milano.

## ESAME

L'esame è composto da due prove scritte e una verifica.

- La prima prova scritta verte su tutti gli argomenti trattati nel corso mentre la seconda parte consiste nella realizzazione di un programma in C.
- La verifica consiste nell'accertamento della correttezza delle due prove scritte, in un eventuale approfondimento orale (a discrezione del docente) e nella registrazione del voto.
- Per lo svolgimento della prima prova viene concesso un tempo prefissato circa 1 ora), dopo di che, l'elaborato deve essere consegnato. Gli elaborati verranno corretti nella settimana successiva e i risultati pubblicati nella bacheca dei Dipartimenti Elettrici.

Per lo svolgimento della seconda prova, valgono le seguenti modalità:

- viene assegnato un problema da risolvere con la realizzazione di un programma in C.
- l'allievo dispone di un tempo prefissato (circa 2 ore) per realizzare il programma sulla carta, in duplice copia.
- la copia originale del listato viene consegnato agli esaminatori.
- l'allievo dovrà successivamente collaudare il proprio programma su un personal computer del LAIB e completare la documentazione dell'elaborato.
- Dopo aver sostenuto le due prove e superata la prima con un voto non inferiore a 17/30, l'allievo dovrà:
- prenotarsi per una sessione di verifica consegnando l'elaborato e la documentazione di cui al punto precedente in Segreteria Studenti dei Dipartimenti Elettrici entro la data fissata dall'apposito avviso;
- presentarsi alla sessione di verifica con il dischetto contenente il programma sorgente corretto e il file eseguibile.
- Durante la verifica verrà analizzato il materiale prodotto dall'allievo, che è tenuto a motivare le scelte operate per la soluzione del problema. Verrà altresì discussa la prima prova scritta ed eventualmente approfondito l'esame orale. Alla fine verrà comunque registrato l'esito dell'esame.

## Note:

- Normalmente le due prove scritte e la verifica sono svolte in un unico appello. Tuttavia i compiti di Teoria con voto non inferiore a 17/30 e i compiti di Programmazione sono tenuti validi per 12 mesi e possono non essere ripetuti.
- Presentarsi a sostenere una prova invalida automaticamente ogni risultato precedente conseguito sullo stesso tipo di prova (non ci si può ritirare). Tra la più vecchia delle due prove e la verifica non devono essere trascorsi più di 12 (dodici) mesi.
- Per sostenere le prove occorre presentare uno statino valido secondo le modalità stabilite dal calendario ufficiale della Facoltà.

**F5011-N2172****Fondamenti di informatica II,  
Sistemi informativi I (TLC)**

Anno: Periodo 2:1 Lezione, Esercitazione: 4+4 (ore settimanali)

Docente: Paolo Camurati (Collab.: Massimo Poncino)

Le lezioni si propongono di illustrare i concetti fondamentali relativi alle strutture dati ed agli algoritmi. Si tratteranno gli algoritmi classici di ordinamento, ricerca e relativi ai grafi, analizzandone la complessità. Saranno, inoltre, presentate metodologie generali per la progettazione di algoritmi. Le esercitazioni tratteranno gli aspetti avanzati della programmazione in linguaggio C, quali le strutture dinamiche e la recursione, le metodologie di analisi strutturata di sistemi ed un'introduzione alla programmazione orientata agli oggetti.

**REQUISITI***Fondamenti di informatica I (INF)***PROGRAMMA**

Introduzione agli algoritmi [1 ora]

Analisi di Complessità [5ore]

- Comportamenti asintotici
- Equazioni alle ricorrenze

Algoritmi di ordinamento [7ore]

- Limite inferiore di complessità
- *Heap* e code a priorità, *heapsort*
- *Quicksort*
- Algoritmi lineari

Strutture dati [13 ore]

- Code, pile, liste, alberi
- Tabelle di hash
- Alberi binari di ricerca
- Alberi RB
- B-tree
- Alberi OS

Tecniche avanzate di analisi e progetto [4 ore]

- Programmazione dinamica
- Algoritmi *greedy*
- Analisi ammortizzata

Teoria dei grafi [14 ore]

- Rappresentazione e visita di grafi
- Alberi ricoprenti minimi
- *Single-source shortest path*
- *All-pairs shortest path*
- Reti di flusso

Teoria della complessità [4 ore]

- Classi di complessità

### ESERCITAZIONI

1. C avanzato [8 ore]
  - Modularità. Recursione. Puntatori ed allocazione dinamica della memoria
2. Strutture dati ed algoritmi in C [12 ore]
  - Liste, pile, code, alberi, code a priorità.
3. Risoluzione di problemi complessi [14 ore]
4. Applicazioni della teoria dei grafi [8 ore]
5. Analisi strutturata di sistemi [4 ore]
6. Introduzione alla programmazione orientata agli oggetti [4 ore]

### BIBLIOGRAFIA

T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest, "Introduction to Algorithms", McGraw Hill, 1992 (anche in versione italiana)

#### Testi ausiliari

B.W. Kernighan, D.M. Ritchie, "The C programming language", 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ (USA), 1988

C. Gane, T. Sarson, "Structured Systems Analysis", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ (USA), 1979

J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, F. Eddy, W. Lorensen, "Object-oriented modeling and design", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ (USA), 1991

### ESAME

L'esame consiste di due prove scritte, una di teoria ed una di progettazione e programmazione e di una prova orale. Le combinazioni di appelli ai quali si può consegnare un elaborato sono quelle ufficiali della Facoltà. La validità di ogni elaborato consegnato è limitata ad una sessione. Le tre prove sono indipendenti e possono essere sostenute in appelli diversi, purché nella stessa sessione. Il superamento della prova di teoria permette di accedere alla prova orale, durante la quale viene verificato l'elaborato della prova di progettazione e programmazione.

## F2300-L2300-N2300 Geometria

Anno: Periodo 1:2

Docenti: Nadia Chiarli, Silvio Greco

### PROGRAMMA

- Vettori applicati e liberi. Spazi vettoriali e sottospazi. Operazioni sui sottospazi. Combinazioni lineari. Insiemi liberi. Basi.
- Scarti successivi e completamento di un insieme libero Dimensione. Dimensione dei sottospazi. Dimensione e base di una somma diretta. Rango. Riduzione con applicazione ai sottospazi. Prodotto tra matrici. Matrici invertibili. Sistemi ridotti.
- Teorema di Rouché-Capelli. Sistemi omogenei. Sistemi ad incognite vettoriali. Calcolo dell'inversa di una matrice. Numeri complessi: definizione, forma alg., trig., radici. Polinomi. Spazi vettoriali su  $\mathbb{C}$ . Determinanti. Teorema di Kronecker.
- Applicazioni lineari: kerf e Imf. Isomorfismi. Applicazione lineare associata a una matrice. Matrice associata ad una applicazione lineare. Terzo modo. Calcolo Imf. Isomorfismi e matrici.
- Teorema di estensione. Controimmagine. Calcolo Kerf. Autovalori e autovettori: def. ed esempi. Polinomio caratteristico. Cambio base. Invarianza del p.c.
- Endo semplici: teoremi sugli endo semplici. Diagonalizzazione. Spazi con p.s. Ortogonalità e basi o.n. Gram-Schmidt. Matrici ortogonali. Endo a.a.
- Teorema fondamentale sugli endo a.a. Matrici simmetriche. Forme quadratiche. Polinomio minimo. Teorema di Cayley-Hamilton. Relazione tra il p.m. e il p.c.
- Matrici diagonali a blocchi. Autospazi generalizzati. Endomorfismi nilpotenti: definizione, proprietà, forma canonica.
- Forma canonica di Jordan. Sistemi differenziali. Equazioni diff. lineari
- Geometria analitica piana. Cambiamenti di riferimento. Riduzione di coniche a forma canonica: teorema con esempi. Coniche degeneri.
- Rette e piani nello spazio. Sfere. Generalità su curve e superficie.
- Curve piane. Cilindri. Coni. Superficie di rotazione. Quadriche. Triedro. Curvatura, cerchio osculatore.

### BIBLIOGRAFIA

Le lezioni seguono il testo:

S.Greco, P.Valabrega, "*Lezioni di algebra lineare e geometria*" 2 vol., Levrotto&Bella, Torino

Per gli esercizi si possono consultare:

S.Greco, P.Valabrega, "*Esercizi risolti*", Levrotto&Bella, Torino

G.Cervelli, A.Di Lello, "*Geometria: esercizi svolti*", CLUT

N.Chiarli, "*L'esame di Geometria*", Levrotto&Bella, Torino

N.Chiarli, S.Greco, P.Valabrega, "*100 esercizi di Algebra lineare*"

N.Chiarli, S.Greco, P.Valabrega, "*100 esercizi di Geometria Analitica piana*"

N.Chiarli, S.Greco, P.Valabrega, "*100 esercizi di Geometria Analitica dello spazio*", Levrotto&Bella, Torino

**ESAME**

L'esame consiste in una prova scritta della durata di due ore e in una prova orale

La prova scritta è suddivisa in tre sezioni:

- nella prima sezione, del valore globale di 20 punti, lo studente deve inserire in apposite caselle le risposte ai quesiti proposti
- nella seconda sezione, del valore globale di 5 punti, lo studente deve risolvere per esteso uno o più esercizi
- nella terza sezione, del valore globale di 5 punti, lo studente deve dimostrare uno o più risultati di tipo teorico visti nel corso

Per accedere alla prova orale occorre aver conseguito un punteggio di almeno 15 punti sui 25 delle prime due sezioni.

Al termine della prova scritta viene affissa in bacheca la correzione del compito e lo studente ha facoltà di ritirarsi dall'esame, senza che ciò comporti conseguenze.

Gli studenti che non si ritirano consegnano lo statino alla segreteria didattica del Dip. di Matematica nei tempi comunicati in sede di prova scritta.

L'esito dell'esame viene registrato qualunque esso risulti.

La prova orale si svolge nello stesso appello della prova scritta (la commissione, a suo insindacabile giudizio può decidere di esonerare lo studente dalla prova orale).

**Esoneri**

Orientativamente dopo le vacanze pasquali viene proposta agli studenti immatricolati nel 95/96 una prova facoltativa di esonero

Tale prova, della durata di un'ora, è strutturata nella forma di 30 quiz a risposta multipla.

Supera la prova lo studente che fornisce almeno 15 risposte esatte (le risposte sbagliate contano 0).

Lo studente che ha superato la prima prova di esonero è ammesso alla seconda prova di esonero, che ha la durata di un'ora e mezzo e consiste di 20 quiz a risposta multipla, un esercizio, la dimostrazione di un risultato teorico visto nel corso.

Supera la prova lo studente che abbia conseguito un punteggio di almeno 15, di cui almeno 10 nei quiz (le risposte sbagliate contano 0).

Lo studente che abbia superato entrambe le prove di esonero con una media di almeno 18 può:

- accettare il voto come voto finale d'esame, se ciò gli viene proposto dalla commissione
- presentarsi all'orale in uno ed un solo dei tre appelli della sessione estiva (in tal caso l'esito è comunque registrato, con annullamento dell'esonero)
- rinunciare al voto dell'esonero e presentarsi a sostenere l'esame regolare.

**N2850****Informatica grafica**

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Aldo Laurentini

Il corso presenta i principi, i metodi, gli strumenti della *Computer Graphics*. In maggior dettaglio vengono presentati: i principi dell'interazione grafica uomo-macchina, con riferimento alle caratteristiche del sistema percettivo visivo umano; i dispositivi *hardware* per la grafica; le tecniche per la creazione di immagini 2D e 3D; le trasformazioni geometriche e la modellazione solida e superficiale; le tecniche per la creazione di immagini realistiche; tecniche avanzate di modellazione; creazione di animazioni ed ambienti virtuali; gli ambienti *software* per lo sviluppo delle applicazioni grafiche.

**REQUISITI**

*Sistemi operativi.*

Il corso presuppone conoscenze di base di matematica, fisica, geometria ed informatica.

**PROGRAMMA**

La visione[4 ore]

- sensibilità spaziale e temporale; la visione binoculare
- immagini acromatiche
- il colore, la sua percezione, i modelli

Proiezioni piane: classificazione e proprietà. Trasformazioni 2D e 3d; coordinate omogenee. La scan conversion.[8 ore]

L'ambiente di sviluppo grafico.[20 ore]

- GKS 2D, 3D
- PHIGS
- OPEN GL
- WINDOWS

Il realismo delle immagini.[12 ore]

- modelli di illuminazione. *Shading* di Phong e di Gouraud.
- *ray tracing*
- *radiosity*
- trattamento di linee e superfici nascoste, ombre.
- *textures*
- frattali, sistemi di particelle ed altre tecniche avanzate
- animazioni

L'*hardware* per la grafica.[8 ore]

- le architetture
- le periferiche per l'input grafico
- la creazione di immagini 2D e 3D
- i dispositivi per la realtà virtuale

La tipografia digitale ed il POSTSCRIPT[2 ore]

Rappresentazione dei solidi: CSG, B-rep, *octrees*. [2 ore]

Curve e superfici. [22 ore]

- punti, vettori, trasformazioni affini
- rappresentazione parametrica di curve 2D e 3D, elementi di geometria differenziale
- costruzione di curve a partire da punti: metodi classici (Lagrange, etc.), *splines* e curve di Hermite, curve di Bezier, algoritmo di de Casteljou, basi di Bernstein, *B-splines*, NURBS: costruzione, caratteristiche, vantaggi
- rappresentazioni di superfici
- elementi di geometria differenziale di superfici: curvatures,
- curvatura media e di Gauss, teorema di Eulero
- superfici rigate e sviluppabili
- quadriche, superfici di *sweep* e di rivoluzione
- interpolazione bilineare
- il prodotto tensoriale
- superfici di Bezier, B-spines, NURBS
- costruzione di superfici a partire da linee

Rappresentazioni multiresoluzione: le *wavelets* [4 ore]

#### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni sono dedicate alla preparazione e discussione degli argomenti delle esercitazioni di laboratorio e degli strumenti usati.

#### LABORATORIO.

Le esercitazioni vertono sullo sviluppo di applicazioni grafiche in ambiente PHIGS ed OPEN-GL.

#### BIBLIOGRAFIA.

Sono disponibili presso la segreteria studenti degli istituti elettrici gli appunti completi sulle lezioni.

#### Testi ausiliari

J.D.Foley, A. van Dam, et al., "*Computer Graphics, Principles and Practice*", Second Edition, Addison-Wesley, 1990

Altri testi, specifici dei principali argomenti, sono indicati negli appunti delle lezioni.

#### ESAME

L'esame consta di due parti, da effettuare in un ordine qualsiasi anche in appelli diversi: una prova orale e la presentazione di una tesina di programmazione grafica.

La prova orale verte su tutto il programma svolto a lezione

La tesina concerne un'applicazione grafica diversa per ogni studente, da sviluppare nel corso delle esercitazioni di laboratorio.

**F2941-N2941****Ingegneria del software I**

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Giorgio Bruno

Il corso presenta i principi, i metodi e gli strumenti principali della moderna ingegneria del *software*. I temi centrali sono: il ciclo di vita del *software* con particolare riguardo alle fasi di specifica dei requisiti, progettazione e testing, il paradigma ad oggetti applicato alla programmazione, all'analisi ed al progetto del *software*, lo sviluppo del *software* mediante l'impiego di modelli grafici, rigorosi, eseguibili e simulabili. Nell'ambito del corso viene illustrato il linguaggio C++ che serve da base per la presentazione di alcuni esempi relativi all'ingegnerizzazione di sistemi *software* complessi.

**REQUISITI**

*Sistemi operativi (INF)*

**PROGRAMMA**

Modelli del ciclo di vita del *software*:

- *Waterfall*, incrementale, evolutivo-prototipale, operativa, a spirale. Specifica dei requisiti funzionali e non funzionali (ISO 9000-3) e *standard* di documentazione

Modelli funzionali:

- Decomposizione *top-down* mediante la tecnica dei dataflow e definizione dei dati e dei processi elementari mediante il *data dictionary*

Modelli informativi:

- Il formalismo *Entity-Relationship* e le sue estensioni principali. Viene anche illustrato un linguaggio navigazionale che rende operazionali (ossia eseguibili) tali modelli

Modelli di controllo:

- Macchine a stati (o diagrammi stato-transizione), macchine a stati operazionali, gerarchiche (o *statecharts*) e concorrenti

Paradigma strutturato:

- Vengono presentati il paradigma strutturato per l'analisi del *software* come integrazione dei tre tipi di modelli - funzionali, informativi e di controllo - e alcuni strumenti Case di supporto

Reti di Petri:

- Modellazione di sistemi concorrenti, analisi delle proprietà comportamentali, suddivisione in sotto-classi trattabili analiticamente. Reti temporizzate e reti colorate; reti operazionali (*Protob*); simulazione di reti di Petri

Paradigma ad oggetti:

- Principi della programmazione ad oggetti: identità, classificazione, ereditarietà e polimorfismo. Metodi di analisi e progetto ad oggetti (rassegna dei metodi di Rumbaugh, Booch e altri). Modellazione operativa ad oggetti ed architetture complesse ad oggetti (formalismo *Class-Relationship*, definizione del comportamento degli oggetti attivi mediante macchine a stati e reti di Petri). Trasformazione di architetture progettuali ad oggetti in architetture implementative basate su processi concorrenti

### Linguaggio C++:

- Ne sono illustrate le caratteristiche principali e, in particolare, i meccanismi di ereditarietà, di gestione della memoria e di overloading degli operatori. Architettura dei programmi scritti in C++

### Verifica del *software*:

- Tecniche di validazione e di verifica. Complessità ciclomatica. Metodi di *testing* (*top-down*, *bottom-up*, *black box*, *white box*)

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni comprendono sia lo svolgimento di esercizi specifici di approfondimento delle parti teoriche sia lo sviluppo di alcuni esempi significativi di sistemi ad eventi, quali sistemi di supervisione e sistemi real-time.

## LABORATORIO

Le esercitazioni vertono principalmente sull'uso del linguaggio C++ e di alcuni ambienti di supporto, come il *Visual C++* della *Microsoft*. Dopo aver svolto un certo attività propedeutiche gli studenti divisi in gruppi affrontano alcuni progetti riguardanti la costruzione di interfacce grafiche e lo sviluppo di simulatori di sistemi ad eventi.

## BIBLIOGRAFIA

- G. Bruno, "*Model-based Software Engineering*", Chapman & Hall, London, 1995  
 B. Stroustrup, "*Il linguaggio C++*", Addison Wesley Masson, Milano, 1993 (per il C++)

## ESAME

L'esame comprende una prova scritta di teoria, una prova scritta di programmazione in C++ (sostituibile da una tesina) e un orale facoltativo.

**F2942-N2942****Ingegneria del software II**

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+2+2 (ore settimanali)

Docente: Maria Letizia Jaccheri

Il corso introduce la teoria e i metodi per una gestione ingegneristica del processo di produzione e di mantenimento del *software* e prevede lo svolgimento di un progetto, come parte pratica.

La parte teorica tratta il linguaggio di specifica formale *Z* e le sue basi matematiche, quali la logica dei predicati. La parte metodologica tratta la gestione del processo *software*, le metriche del *software*, e gli strumenti automatici tipo CASE. La parte pratica è il fulcro del corso e ne costituisce parte preponderante: consiste di un progetto reale con un committente e un modello di processo ben definito da seguire.

**REQUISITI***Ingegneria del software I***PROGRAMMA**

- La matematica per l'ingegneria del *software*
- Il linguaggio di specifica *Z*
- Il processo *software*
- Gli ambienti automatici per lo sviluppo del *software*
- La garanzia di qualità del processo *software*
- La gestione delle configurazioni di documenti *software*
- Le metriche del *software*
- Fattori umani, comunicazione e ingegneria del *software*

**ESERCITAZIONI**

1. Il linguaggio *Z*: esercitazioni
2. Il modello di svolgimento del progetto
  - I gruppi e l'organizzazione delle persone: la gestione dei documenti
  - Gli strumenti utilizzati: MS *Project*, *Power Point*, *Easy CASE*, *E3*
3. Interazione con il committente reale. La fase di analisi. La fase di definizione dei requisiti. La fase di progetto. I gruppi. Le metriche

**LABORATORIO**

Uso degli strumenti automatici per l'esecuzione del progetto.

**BIBLIOGRAFIA**

Raccolta di lucidi a cura del docente

A. Diller, "*Z: An Introduction to Formal Methods*", John Wiley & Sons ed.

**Testi ausiliari**

Sommerville, "*Software Engineering, I*", Addison Wesley, IV ed.

Ghezzi, Jazayeri, Mandrioli, "*Fundamental of Software Engineering*", Prentice Hall International

ESAME

L'esame consiste di tre parti:

1. Una verifica, da svolgersi durante il corso, riguardante parte teorica
2. Il progetto
3. Un orale su argomenti metodologici e sul progetto

**N3000****Intelligenza artificiale**

Anno: Periodo 5:2 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Elio Piccolo

Il corso si propone di illustrare le problematiche connesse all'intelligenza artificiale e le relative metodologie. I temi fondamentali riguardano i modelli base del comportamento intelligente, la costruzione di macchine che li simulino, la rappresentazione della conoscenza, i limiti per cui l'intelligenza è descritta dalla valutazione di regole, dall'inferenza, dalla deduzione e dal computo di pattern. Si prenderanno in esame le architetture dei sistemi di apprendimento e come essi rappresentano la loro conoscenza del mondo esterno. Il corso è integrato da esercitazioni pratiche durante le quali lo studente apprenderà l'uso di linguaggi non algoritmici, quali LISP e PROLOG, di shell di sistemi aperti e di altri strumenti di intelligenza artificiale.

**REQUISITI**

*Sistemi operativi*

**PROGRAMMA**

Strategie per la risoluzione di problemi:

- Soluzioni nello spazio degli stati
- Soluzione per decomposizione in sotto-problemi
- Ricerca in ampiezza, profondità e mediante euristica

Logica: monotona, non monotona, *fuzzy*

- La logica proposizionale
- La logica del primo ordine
- La logica di ordine superiore
- Le logiche modali e temporali
- Procedure di decisione
- *Fuzzy logic*

Rappresentazione della conoscenza:

- Le reti semantiche
- Le regole di produzione
- I frame
- Gli approcci ibridi
- Confronti in termini di espressività, potere deduttivo, applicabilità
- Modelli di ragionamento e di apprendimento: incertezza, inferenza bayesiana, belief
- Architetture che imitano i sistemi biologici: reti neurali, connessionismo, memoria distribuita sparsa

Sistemi basati sulla conoscenza:

- I sistemi esperti: problematiche e classificazioni, con particolare riguardo alle applicazioni degli stessi in ambiti tecnico-ingegneristici: apprendimento automatico; interfaccia utente nell'ambito dei sistemi basata sulla conoscenza: modelli sintattici e semantici per la comprensione del linguaggio naturale, traduzione automatica

- Cenni di robotica: cinematica e dinamica del moto dei robot e modelli del mondo esterno per i robot

Linguaggi non procedurali:

- I linguaggi funzionali con particolare attenzione al LISP
- I linguaggi logici con particolare attenzione al PROLOG

Riconoscimento e comprensione:

- Tecniche di riconoscimento di configurazioni (*pattern recognition*, approccio statico e sintattico)
- Il riconoscimento delle immagini
- Il riconoscimento del parlato

## ESERCITAZIONI

Esecuzione di progetti di varia natura, tramite le metodologie presentate a lezione, legati ad applicazioni tecnico-ingegneristiche: tecniche per la valutazione di regole; tecniche facenti uso di sistemi esperti in domini ristretti e shell di sistemi esperti; sistemi di riconoscimento del linguaggio; reti neuroniche; giochi intelligenti; riconoscitori di immagini o di parlato.

## BIBLIOGRAFIA

E. Rich, "*Intelligenza artificiale*", McGraw Hill, Milano

N.J. Nilsson, "*Metodi per la risoluzione dei problemi nell'intelligenza artificiale*", Angeli, Milano

### Testi ausiliari

I. Bratko, "*Programmare in prolog per l'intelligenza artificiale*", Massons Addison Wesley, Milano

## ESAME

Per il superamento dell'esame, oltre a sostenere una prova orale, l'allievo dovrà approfondire uno degli argomenti del corso, a sua scelta, svolgendo una tesina e sviluppando una parte sperimentale.

**F3040****Istituzioni di economia**

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

Docente: *da nominare*

Il corso si propone di fornire allo studente le nozioni fondamentali per capire il funzionamento dell'economia, sia a livello macroeconomico, cioè del sistema economico complessivo, sia a livello microeconomico, cioè del comportamento degli operatori.

**PROGRAMMA**

Il corso inizia con una breve rassegna dell'evoluzione dell'analisi economica. Si divide successivamente in due parti.

Nella prima parte si sviluppano le nozioni fondamentali della microeconomia: analisi della domanda e dell'offerta, equilibrio dei mercati, formazione dei prezzi, comportamento del consumatore e delle imprese, analisi dei costi, mercati dei fattori produttivi e dei prodotti, analisi delle forme di mercato (concorrenza perfetta, monopolio, oligopolio, concorrenza monopolistica), i fallimenti del mercato (costi esterni sociali ed ambientali).

Nella seconda parte si sviluppano invece le nozioni relative al funzionamento del sistema macroeconomico: contabilità nazionale e suoi limiti, analisi dei grandi aggregati macroeconomici (reddito, risparmio, consumi, investimenti) e delle loro interazioni, bilancio dello stato, tassazione e spesa pubblica, funzionamento del sistema monetario, scambi con l'estero, politica dei tassi di cambio, politiche economiche e fiscali.

**BIBLIOGRAFIA**

Fischer, Dornbush, *Economia*, Hoepli, Milano.

Per la storia dell'analisi economica:

R. Gill, *Il pensiero economico moderno*, Il Mulino, Bologna.

Verranno inoltre utilizzati i principali documenti di politica economica.

## F3050-L3050 Istituzioni di meccanica quantistica

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Carla Buzano

Il corso si propone, partendo dalle conoscenze acquisite nei corsi di Fisica I e II, di introdurre gli studenti allo studio della Meccanica Quantistica e Statistica, fornendo le basi concettuali e le tecniche necessarie per seguire con profitto corsi successivi di rilevante contenuto fisico. Ampia parte del corso è dedicata ad applicazioni nel campo della Struttura della Materia con particolare attenzione al Magnetismo.

### REQUISITI

*Fisica II (TLC), Analisi matematica I e II, Geometria, Fisica I.*

### PROGRAMMA

Cenni di meccanica analitica: [8-12 ore]

- Lagrangiana ed equazioni di Lagrange, Hamiltoniana ed equazioni di Hamilton, parentesi di Poisson, trasformazioni canoniche. Piccole oscillazioni, coordinate normali

Meccanica Quantistica: [56-60 ore]

- Breve analisi degli esperimenti che hanno condotto alla formulazione della Meccanica Quantistica
- Formulazione di Dirac della Meccanica Quantistica: Principio di sovrapposizione e caratterizzazione degli stati dinamici mediante vettori. Variabili dinamiche e osservabili. Teoria della rappresentazione. I postulati della Meccanica Quantistica (probabilità dei risultati di misura e valore medio di un osservabile). Principio di indeterminazione di Heisenberg. Comportamento dinamico di un sistema quantistico (descrizione di Schroedinger, di Heisenberg, di interazione)
- Meccanica Ondulatoria
- Applicazioni elementari della Meccanica Quantistica: oscillatore armonico, buca (barriera) di potenziale rettangolare
- Proprietà generali dei momenti angolari in meccanica quantistica
- Particella in un campo centrale. Atomo di idrogeno
- Lo spin. Bosoni e Fermioni
- Sistemi di particelle identiche. Principio di esclusione di Pauli
- Metodi di approssimazione. Teoria delle perturbazioni

Elementi di Meccanica Statistica Quantistica: [14-16 ore]

- I postulati della Fisica Statistica (concetto di ensemble, ipotesi ergodica)
- Ensemble microcanonico, canonico, gran canonico
- Gas di Bosoni: statistica di Bose-Einstein. Gas di Fermioni: statistica di Fermi-Dirac. Gas classico: statistica di Maxwell-Boltzmann

Applicazioni nel campo della Struttura della Materia, con particolare attenzione al Magnetismo

## ESERCITAZIONI

1. Insieme completo di osservabili che commutano
2. Modi normali molecola
3. Esempi vari

## LABORATORIO

Esercitazioni al computer (svolte al LAIB) sui seguenti argomenti:

1. Particella libera
2. Stati legati (oscillatore armonico, buca di potenziale)
3. Stati di *scattering* (potenziale a gradino, buca e barriera di potenziale, effetto tunnel)
4. Atomo di idrogeno
5. Modi normali di oscillazione

## BIBLIOGRAFIA

Sono a disposizione appunti raccolti dagli studenti.

### Testi ausiliari

- C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloe, "*Mecanique Quantique*" I e II, Hermann  
 A. Messiah, "*Quantum Mechanics*" I e II, North Holland  
 A. Galindo, P. Pascual, "*Quantum Mechanics*" I e II, Springer-Verlag  
 J.J. Sakurai, "*Meccanica Quantistica Moderna*", Zanichelli  
 W.H. Louisell, "*Quantum Statistical Properties of Radiation*", John Wiley  
 R. Liboff, "*Introductory Quantum Mechanics*", Addison - Wesley

## ESAME

L'esame consta di una prova orale.

**F3070-N3070****Linguaggi e traduttori**

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+3+2 (ore settimanali)

Docente: Silvano Rivoira

Il corso ha lo scopo di introdurre la teoria dei linguaggi formali e di illustrarne l'applicazione nella progettazione dei compilatori.

La prima parte descrive le proprietà delle più importanti classi di linguaggi formali e delle loro rappresentazioni.

La seconda parte analizza la struttura dei compilatori, esaminando le diverse fasi del processo di traduzione, le problematiche associate a ciascuna di esse e le relative tecniche di soluzione.

Durante le esercitazioni viene sviluppato il progetto di un compilatore per un sottosistema del linguaggio C.

**REQUISITI**

*Calcolatori elettronici*

**PROGRAMMA**

Linguaggi Formali: [18 ore]

- Classificazione [3 ore]
- Linguaggi regolari [5 ore]: Grammatiche regolari. Espressioni regolari. Automi a stati finiti
- Linguaggi *context free* [8 ore]: Grammatiche *context free*. Automi *pushdown*. Grammatiche LR(k)
- Macchine di Turing [2 ore]

Compilatori: [36 ore]

- Struttura dei compilatori [2 ore]
- Analisi lessicale [2 ore]
- Analisi sintattica [8 ore]: Analisi *top down*. Analisi *bottom up*
- Traduzione guidata da sintassi [6 ore]: Definizioni ad attributi. Traduzione *top down*. Traduzione *bottom up*
- Analisi semantica e generazione del intermedio [8 ore]: Controllo dei tipi. Linguaggi intermedi. Analisi di dichiarazioni e istruzioni
- Generazione di blocchi di base e grafi di flusso [6 ore]: Generazione di un blocco di base. Allocazione dei registri
- Ottimizzazione del intermedio [4 ore]: Eliminazione di sottoespressioni comuni. Propagazione delle copie. Ottimizzazione dei cicli

**ESERCITAZIONI**

1. Generazione di analizzatori lessicali mediante LEX [8 ore]
2. Analizzatori sintattici a discesa ricorsiva [4 ore]
3. Generazione di traduttori mediante YACC [8 ore]
4. Tabelle dei simboli e Ambienti di esecuzione [8 ore]
5. Generazione e ottimizzazione del [8 ore]

## LABORATORIO

Realizzazione dei componenti base di un compilatore mediante l'impiego di strumenti *software* per la generazione di analizzatori lessicali e di traduttori guidati da sintassi [20 ore].

## BIBLIOGRAFIA

J.E. Hopcroft, J.D. Ullman, "*Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*", Addison Wesley, 1979

A.V. Aho, R. Sethi, J.D. Ullman, "*Compilers: Principles, Techniques, and Tools*", Addison Wesley, 1986

### Testi ausiliari

G. Bruno, "*Linguaggi Formali e Compilatori*", UTET, 1992

## ESAME

- L'esame si compone di due prove scritte e di una verifica
- La prima prova scritta verte sul programma, ha la durata di un'ora, può essere sostenuta una sola volta per sessione, ed è valida per un anno solare. Non è ammessa la consultazione di nessun tipo di documento
- È prevista una prova intermedia di esonero relativa al capitolo *Linguaggi Formali*
- La seconda prova scritta verte sui contenuti delle ESERCITAZIONI e del LABORATORIO, consiste nello sviluppo di un programma, ha la durata di due ore e può essere ripetuta ad ogni appello. È possibile consultare libri ed appunti
- La prova di verifica consiste nel confronto tra un elaborato consegnato al termine della seconda prova scritta ed un corrispondente programma eseguibile sviluppato successivamente dal candidato. Questa prova può essere sostenuta nello stesso appello o in un appello successivo a quello della seconda prova nell'arco di un anno solare
- Il voto finale è il risultato della media aritmetica dei voti ottenuti nella prima prova scritta e nella prova di verifica

**L3130****Macchine elettriche**

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Laboratorio: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Aldo Boglietti

Il corso vuole fornire allo studente le basi conoscitive sul funzionamento delle principali macchine elettriche. In particolare il contenuto del corso viene adattato alle esigenze principale degli studenti con un orientamento elettronico industriale e di automazione. Per questo motivo le macchine elettriche vengono analizzate con modelli di tipo stazionario e di tipo dinamico. Il corso è consigliato a tutti gli studenti che prevedano nel piano di studio i corsi di Azionamenti Elettrici, Azionamenti Elettrici per l'Automazione, Elettronica Industriale di potenza.

**REQUISITI**

*Elettrotecnica.*

**PROGRAMMA**

- Richiami sui sistemi trifase [3 ore]
- Richiami sui campi magnetici. Soluzione delle reti magnetiche. Problemi legati alle non linearità. Criteri di dimensionamento delle induttanze [1 ora]
- Concetti generali sulle dimensioni delle macchine elettriche. Criteri di similitudine [1 ora]
- Il trasformatore monofase. Principi di funzionamento. Determinazione del circuito equivalente. Prove sui trasformatori monofasi. Caratteristiche nominali. Rendimenti e cadute di tensione. Parallelo dei trasformatori monofasi [6 ore]
- Il trasformatore Trifase. Principi di funzionamento. Determinazione del circuito equivalente. Prove sui trasformatori trifasi. Problemi legati al funzionamento con carico squilibrato. Caratteristiche nominali. Rendimenti e cadute di tensione. Parallelo dei trasformatori trifasi e concetto di gruppo i appartenenza [4 ore]
- Cenni sul funzionamento dell'autotrasformatore [1 ora]
- Principi di conversione statica dell'energia. Determinazione di forze e di coppie nei sistemi elettromeccanici [3 ore]
- Macchina in corrente continua. Principi di funzionamento e presenza del collettore a lamelle. Equazioni della macchina e suo circuito equivalente. Modello in regime stazionario ed in regime dinamico. Caratteristiche di coppia dei principali motori in corrente continua. Concetto di azionamento in corrente continua e regolazione della coppia e della velocità. Commutazione della macchina in corrente continua [10 ore]
- Distribuzione di forza magneto motrice e concetto di avvolgimento. Campo magnetico rotante. Flussi concatenati con gli avvolgimenti e forze elettromotrici indotte. Creazione di coppia tra distribuzione di induzione al traferro e corrente [6 ore]
- Motore asincrono. Determinazione del circuito equivalente in regime stazionario. Determinazione della caratteristica di coppia. Prove sui motori asincroni. dati nominali. Caratteristiche costruttive. Regolazione della velocità. Alimentazione dei motori asincrono con inverter. Controllo di coppia. Motore asincrono monofase [14 ore]

- Trasformazione delle grandezze trifase. Trasformazione trifase bifase. Trasformazione di rotazione [2 ore]
- Modello dinamico del motore asincrono. Determinazione delle auto e mutue induttanze. Modello dinamico del motore asincrono su assi fissi e su assi rotanti [6 ore]
- Controllo diretto di coppia e cenni sul controllo di tipo *field oriented* [1 ora]
- Macchina sincrona. Principio di funzionamento. Macchina isotropa ed anisotropa. Macchina sincrona collegata ad una rete di potenza infinita. Regolazione della potenza attiva e reattiva. Fenomeni magnetici all'interno della macchina sincrona e determinazione della reattanza sincrona [5 ore]
- Cenni sul funzionamento delle macchine sincrone a magneti permanenti. Brushless sinusoidale e trapezio [2 ore]
- Modello dinamico della macchina sincrona. Determinazione delle auto e mutue induttanze. Modello dinamico della macchina sincrona [5 ore]
- Motori passo passo. Caratteristiche costruttive. Caratteristiche di coppia. Alimentazione e controllo dei motori passo passo [3 ore]

## ESERCITAZIONI

1. Prova a vuoto ed in corto circuito di un trasformatore trifase ed elaborazione delle prove
2. Misure in regime stazionario e dinamico su un motore in corrente continua per ottenere i parametri del modello
3. Simulazione al calcolatore del comportamento dinamico di un motore in corrente continua sulla base dei parametri ricavati dalle prove sperimentali
4. Prova a vuoto ed in corto circuito di un motore asincrono trifase ed elaborazione delle prove per l'ottenimento dei parametri del circuito equivalente
5. Simulazione al calcolatore del comportamento dinamico di un motore asincrono con alimentazione sinusoidale
6. Prove di laboratorio su un motore asincrono trifase con alimentazione da inverter in onda quadra e PWM
7. Simulazione al calcolatore del comportamento dinamico di un motore asincrono con alimentazione da inverter in onda quadra e PWM
8. Prove di laboratorio su un motore asincrono trifase con alimentazione da *inverter* controllato in corrente di tipo *field oriented*
9. Simulazione al calcolatore del comportamento dinamico di un motore asincrono con alimentazione da inverter controllato in corrente di tipo *field oriented*

## BIBLIOGRAFIA

A. Fitzgerald, C. Kingsley, A. Kusko, "Electrical Machines", Ed. McGraw-Hill. Esiste trad. del testo in italiano degli autori G. Molinari ed altri edito da Franco Angeli. Per la parte di corso riguardante la dinamica delle macchine elettriche verranno distribuite apposite dispense

## ESAME

Solo orale.

**L3200****Meccanica analitica**

Anno: Periodo 5:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+2+2 (ore settimanali)

Docente: Ida Bonzani

Obiettivo del corso è fornire gli strumenti di meccanica analitica necessari allo studio dinamico dei sistemi materiali con  $n$  gradi di libertà. Nel presentare agli studenti i fondamenti della meccanica analitica si offre uno strumento idoneo sia alla trattazione di problemi cinematici diretti ed inversi per catene aperte sia allo studio dinamico di sistemi articolati con relativi problemi di stabilità.

**REQUISITI**

Nozioni generali di meccanica classica.

**PROGRAMMA**

- Sistemi olonomi ed anolonomi. Spazio delle configurazioni e delle fasi. Esempi riferiti a sistemi costituiti da una o più parti rigide, mobili nel piano o nello spazio
- Richiami di cinematica e dinamica dei sistemi rigidi
- Relazione simbolica della dinamica e principio di d'Alembert. Equazioni di Lagrange ed applicazioni. Espressione generale dell'energia cinetica per un sistema olonomo
- Principio dei lavori virtuali. Condizioni di equilibrio per un sistema olonomo.
- Sistemi olonomi sollecitati da forze conservative. Teorema dell'energia. Potenziale generalizzato. Funzione di dissipazione per sollecitazioni non conservative
- Integrali primi del moto per sistemi lagrangiani ed esempi
- Equazioni del moto di Hamilton (o canoniche). Integrali primi per sistemi canonici. Teoremi di conservazione e significato fisico dell'Hamiltoniana
- Parentesi di Poisson. Trasformazioni canoniche. Teorema di Liouville
- Stabilità per sistemi dinamici e "piccole oscillazioni". Problemi di controllo
- Biforcazioni e comportamento caotico dei sistemi dinamici

**ESERCITAZIONI**

Applicazioni degli argomenti svolti a lezione, con riferimento a sistemi costituiti da un numero finito di parti rigide. Lo studio dinamico di tali sistemi richiede l'utilizzo di personal computer, specialmente nella seconda metà del corso.

**BIBLIOGRAFIA**

Verranno distribuite dispense

**Testi ausiliari**

Arnold V., "*Mathematical Methods of Classical Mechanics*", Springer, 1989

Ioss G. and josph D., "*Elementary Stability and Bifurcation Theory*", Springer, 1980

**ESAME**

Discussione orale rivolta specificamente all'esame del sistema studiato dinamicamente durante le esercitazioni, con presentazione ed illustrazione dei risultati ottenuti.

**N3460****Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo**

Anno: Periodo 4,5:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio (opzionale):6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Giovanni Fiorio (Collab.: Stefano Malan)

L'insegnamento è rivolto ad approfondire i problemi di ottimizzazione di sistemi dinamici. La trattazione viene svolta per sistemi dinamici descritti da modelli a tempo sia discreto, sia continuo. Particolare rilievo viene riservato a problemi di tipo lineare-quadratico in presenza di riferimenti e disturbi. Il programma termina con la presentazione del controllo H-infinito e del controllo ottimo decentralizzato e gerarchico.

**REQUISITI**

*Controlli Automatici (spec) (INF)*. L'insegnamento richiede possibilmente la conoscenza del corso di *Teoria dei Sistemi*.

**PROGRAMMA**

- Presentazione dei problemi di ottimizzazione negli studi di ingegneria. L'ottimizzazione in termini matematici ottimizzazione in spazi euclidei, in spazi di funzioni, cenni all'ottimizzazione discreta. Introduzione all'ottimizzazione nei sistemi di controllo.
- Ottimizzazione in spazi euclidei. Metodi analitici in assenza di vincoli; in presenza di vincoli di uguaglianza i moltiplicatori di Lagrange; con vincoli di disuguaglianza le condizioni di Kuhn e Tucker. La dualità. Metodi numerici di ottimizzazione metodi del gradiente, della ricerca diretta, delle direzioni ammissibili, delle funzioni di penalità.
- Controllo ottimo a tempo discreto. Problema base. Discretizzazione delle espressioni contenute nel problema base. Problemi di controllo ottimo lineare-quadratico, senza e con riferimenti e disturbi.
- Controllo ottimo a tempo continuo. Orizzonte temporale prefissato e assenza di vincoli all'istante finale. Forma generale e forma particolare del problema lineare-quadratico in assenza di riferimenti e disturbi. Orizzonte temporale incognito e presenza di vincoli all'istante finale. Il problema del controllo in tempo minimo. Il principio del minimo di Pontriaghin.
- Cenni sulla programmazione dinamica e sulle sue applicazioni. Il principio di ottimalità. Ottimizzazione di percorsi su grafi orientati. Il principio di ottimalità applicato al controllo ottimo di sistemi a tempo discreto.
- Sviluppi della teoria del controllo ottimo a tempo continuo nell'ambito lineare-quadratico. Uso della programmazione dinamica per la deduzione dell'equazione di Hamilton-Jacobi. L'equazione matriciale differenziale di Riccati. Procedimento di risoluzione dell'equazione suddetta. Il problema del regolatore lineare-quadratico in presenza di riferimenti e disturbi. Controllo su tempo infinito e controllo predittivo. Controllo ottimo con retroazione proporzionale dagli stati e integrale dalle uscite.

Proprietà di robustezza del controllo ottimo lineare-quadratico. Identità e disuguaglianza di Kalman, e loro conseguenze.

- Teoria del controllo LOG. Richiami sugli osservatori. Il filtro di Kalman. Il principio di separazione. Il controllo ottimo per retroazione dalle uscite non coincidenti con le variabili di stato. Casi di subottimalità che presentano maggior interesse applicativo.
- Ottimizzazione negli spazi di Hardy. Introduzione matematica. Il problema *standard* problema dell'adeguamento al modello, problema dell'inseguimento a due gradi di libertà. Robustezza e specifiche classiche. Impianto aumentato. Ottimizzazione negli spazi H-due e H-infinito. L'operatore di Riccati. Sintesi H-due e sintesi H-infinito.

## ESERCITAZIONI

Alle esercitazioni in aula è dedicata una coppia di ore consecutive ogni settimana.

A ciascuno degli otto capitoli del programma è dedicata una esercitazione settimanale, salvo a quelli di maggior estensione, cui sono dedicate due o eccezionalmente tre esercitazioni successive. Gli esercizi presentati nelle esercitazioni sono contenuti alla fine di ogni capitolo del testo di riferimento.

## BIBLIOGRAFIA

G.Fiorio e S.Malan, "*Introduzione al Controllo Ottimo*", CLUT 1994

### Testi ausiliari

P.Dorato, C.Abdallah, V.Cerone, "*Linear-Quadratic Control An Introduction*", Prentice Hall, 1995

## ESAME

L'esame consiste di due parti, entrambe orali: la prima riguarda la discussione di una tesina, preparata durante il corso, con l'uso dei mezzi del Laboratorio di Informatica di Base; la tesina deve avere come contenuto minimo la risoluzione completa di sei problemi, ognuno dei quali presentato in una diversa esercitazione; la seconda parte dell'esame riguarda tutto il programma.

Anno: Periodo 4:2    Lezione:6/4    Esercitazione: 2/4

Docente: Francesco Gregoretti

Il corso ha lo scopo di fornire agli allievi le metodologie e le conoscenze necessarie per la progettazione di circuiti integrati digitali o misti analogico-digitali. Il corso si focalizza in particolare sul progetto "full custom" e sull'analisi di moduli funzionali di media e bassa complessità e sulla loro integrazione in sistemi di tipo *standard cell*. A tale scopo le esercitazioni di laboratorio CAD utilizzano programmi CAD commerciali e sono una parte fondamentale del corso.

#### REQUISITI

*Elettronica applicata I, Reti logiche (INF), Elettronica applicata (ELN)*

#### PROGRAMMA

Il corso è diviso in tre parti principali.

##### Parte I

- Ciclo di progetto
- Richiami di fisica dello stato solido e su processi tecnologici del silicio
- Il transistor MOS, equazioni di base, effetto canale corto, effetto canale stretto
- Saturazione di velocità dei portatori, conduzione sotto soglia, Elettroni caldi e condizioni limite di funzionamento
- Modello di piccolo segnale, Parametri parassiti
- Latchup
- Analisi di un processo CMOS *standard*, processi tecnologici aggiuntivi, Tecnologie silicio su isolante
- Interfaccia progettista fabbricante, Regole di progetto

##### Parte II

- Astrazione logica
- Invertore CMOS, zone di funzionamento, analisi dettagliata dei ritardi, Dissipazione di potenza, tecniche di *layout*, invertitori nmos-like e con *pullup* indotto
- Modelli di valutazione del ritardo delle interconnessioni
- Logica complementare statica, topologia e dimensionamento degli elementi attivi, confronto porte NAND e porte NOR, porte *And-Or-Invert*
- Logiche nmos-like, logiche CVSL, logiche a *transmission gates*
- Logiche dinamiche
- Strutture logiche regolari, logica a due livelli
- PLA nmos-like, *folding*, PLA complementari, PLA dinamica autosincronizzante, PLA dinamica Domino, PLA dinamica a 2 e 4 fasi
- Memorie ROM, Decodificatori e *demultiplexers*
- Latch statici, registri dinamici, registri a scalamento, metastabilità
- RAM Statiche e loro dimensionamento
- Circuiti analogici elementari, specchi di corrente, amplificatori, operazionali, tecniche di *layout* analogico

- Sense Amplifiers

### Parte III

- Pilotaggio grossi carichi capacitivi, *pads* di uscita, *pads tri-state*
- Pads di ingresso, protezioni, scalamento, Trigger di Schmitt
- Moduli per *data-path*, Addizionatori, Contatori, Moltiplicatori, *Shifter*
- Ciclo di progetto e metodologie
- Circuiti Sincroni ed asincroni
- Progetto *Top-down*, progetto *Bottom-up*
- Linguaggi di descrizione e strumenti CAD per il progetto
- Sorgenti di guasto di un circuito integrato, metodologie di *testing*

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula corrispondono allo svolgimento di esercizi o di piccoli progetti su alcuni dei principali argomenti svolti a teoria.

### LABORATORIO

Le esercitazioni di laboratorio consistono nell'utilizzazione di strumenti CAD di tipo commerciale.

### BIBLIOGRAFIA

N. Weste, K.Esraghian, "*Principles of cmos vlsi design*", Addison Wesley

#### **Testi ausiliari**

R.Gregorian, G.Themes, "*Analog mos integrated circuits*", John Wiley and Sons

### ESAME

- Scritto e orale
- L'orale può venire sostituito dallo svolgimento di una tesina corrispondente al progetto di un semplice circuito integrato che viene inviato in fabbricazione

## F3570-L3570                      Microonde

Anno: Periodo 4:1    Lezione ed Esercitazione: 8 (ore settimanali);  
 Laboratorio: 3 volte nel semestre

Docente: Gian Paolo Bava

Scopo del corso è di fornire metodi di studio e di progetto di componenti, dispositivi e circuiti di interesse nel campo delle microonde, con particolare attenzione al settore delle telecomunicazioni (collegamenti e circuiti di elaborazione dei segnali in guide metalliche e dielettriche ed in strutture adatte a circuiti integrati; cenni sistemistici). Vengono anche discusse concisamente alcune tematiche particolari, che coinvolgono aspetti di interesse per le microonde e sono di rilievo per l'attuale evoluzione (tubi per microonde, interazioni tra microonde ed optoelettronica, dispositivi allo stato solido avanzati).

### REQUISITI

*Campi elettromagnetici II (TCL), Campi elettromagnetici I (ELN)*

### PROGRAMMA

Non è prevista una netta distinzione tra lezioni ed esercitazioni (di calcolo); per gli argomenti più significativi, al momento opportuno, verrà dedicato spazio ad esercizi. Tematiche sviluppate nel Corso:

- Richiami e generalizzazioni sulla propagazione guidata; eccitazione ed accoppiamento dei modi e delle guide; esempi vari di fenomeni e componenti, in particolare progetto di circuiti in microstriscia anche con dispositivi attivi [circa 12 ore]
- Parametri *scattering* e loro proprietà; connessione di strutture e riflessioni multiple; circuiti e componenti non reciproci; strutture con quattro porte, in particolare accoppiatori direzionali; esempi di applicazioni; altri componenti [circa 14 ore]
- Circuiti distribuiti a microonde e cenni sulle tecniche di progetto; trasformazione di Richards; identità di Kuroda; modelli di filtri distribuiti; invertitori di impedenza; esempi diversi di filtri [circa 10 ore]
- Risonatori elettromagnetici; parametri caratteristici; risonatori in guida metallica e dielettrici; risonatori aperti; eccitazione ed accoppiamento dei risonatori; applicazioni varie dei risonatori [circa 12 ore]
- Guide non uniformi ed accoppiamento dei modi; condizione di sincronismo; problematiche e loro classificazione, in assenza di perdite; applicazioni varie; strutture periodiche e loro interesse; interazioni elasto-ottiche ed elettro-ottiche ed applicazioni [circa 10 ore]
- Onde di carica spaziale e loro applicazioni; in fasci di elettroni nel vuoto; tubi per microonde (klystron, tubi a onde progressive e regressive, magnetron); applicazioni nei sistemi di telecomunicazioni; cenni sui dispositivi a onde di carica spaziale in semiconduttori [circa 10 ore]

- Problematiche di fenomeni non lineari che originano mescolazione di frequenza in diversi contesti e loro applicazioni; mescolatori di ricezione e di trasmissione; relazioni di Manley-Rowe; *maser*; effetti parametrici ed amplificatori parametrici e loro impieghi [circa 12 ore]

#### LABORATORIO

Sono previste tre esercitazioni di Laboratorio, per le quali si utilizzerà una suddivisione in squadre di 5-10 studenti, sui seguenti argomenti:

1. Analisi, discussione ed osservazione di componenti diversi a microonde (in guida metallica, in microstriscia, tubi, ecc.)
2. Rilievo delle caratteristiche di alcuni componenti in microstriscia di particolare interesse
3. Misura dei parametri caratteristici di un risonatore

#### BIBLIOGRAFIA

È disponibile una versione completa di appunti sulle lezioni, di cui una copia verrà messa a disposizione degli studenti all'inizio del Corso

#### Testi ausiliari

R. E. Collin, "*Foundations for Microwave Engineering*", McGraw Hill 1992

#### ESAME

- L'esame consiste in una prova scritta breve (circa un'ora) ed in una prova orale
- Non vi sono limitazioni per l'ammissione all'orale
- Il voto finale consiste nella media dei due parziali
- La prova scritta è basata sullo sviluppo di due elaborati (esercizi numerici e/o discussione su tematiche sviluppate nel corso; non si richiedono dimostrazioni)

**L3700****Misure su Sistemi di Trasmissione e Telemisure**

Anno: Periodo 5:2 Lezione: 6 (ore settimanali)

Docente: Sigfrido Leschiutta

Il corso, di tipo facoltativo, è destinato agli allievi in Ingegneria Elettronica che hanno già seguito il corso obbligatorio di Misure Elettroniche.

Nel corso pertanto si considereranno misure particolari, dando un particolare rilievo al ruolo delle Misure di Tempo e di Frequenza in Scienza e Tecnologia. Come esempio di una particolare applicazione delle Telecomunicazioni si considereranno i metodi ed i sistemi di localizzazione e di navigazione.

**PROGRAMMA**

Il corso, che si svolge tutto in aula, si divide in quattro parti.

In una prima parte si descrivono i campioni di frequenza, sia piezoelettrici, sia atomici.

La seconda parte è dedicata ai sistemi di localizzazione e di potenziamento.

Si considereranno nella terza parte, strumentazione elettronica di tipo avanzato (moltiplicatore di scarto, contatore con cerniera, misura campo), mentre la quarta parte è dedicata a particolari problemi di misura, quali compatibilità elettromagnetica, misure di rumore, misure su sistemi di Telecomunicazione, sistemi di misura automatici, e così via.

Il necessario rilievo verrà dato alla normativa internazionale e ai Servizi Nazionali di Taratura.

**BIBLIOGRAFIA**

E. Rubiola, A. De Marchi, S. Leschiutta: "*Esercizi di Misure Elettriche ed Elettroniche*", CLUT, Torino, 1996.

S. Leschiutta: "*Misure Elettroniche*", Pitagora, Bologna 1996.

E. Arri, S. Sartori: "*La misura delle grandezze fisiche - argomenti di metrologia*", Paravia, Torino, 1984.

R.A. Witte: "*Electronic Test Instruments*", HP-Prentice Hall, N.J., 1993.

C.E. Coombs, "*Basic Electronic Instrument handbook*", Mc Graw Hill, N.J., 1972.

A. De Marchi, L. Lo Presti: "*Incertezze di misura*", CLUT, Torino, 1993.

**ESAME**

La verifica dell'apprendimento è basata su una prova scritta, della durata di due ore, sugli argomenti coperti durante il corso e su un colloquio, della durata di circa mezz'ora, sempre sugli argomenti del corso.

**F3700****Misure su Sistemi di Trasmissione e Telemisure**

Anno: Periodo 5:2 Lezione: 6 (ore settimanali)

Docente: Sigfrido Leschiutta

Il corso, di tipo obbligatorio, è destinato agli allievi in Ingegneria delle Telecomunicazioni, che non hanno precedentemente seguito nessun altro corso di carattere Misuristico. Pertanto si dovrà dedicare una parte del corso a una impostazione metrologica, prima di passare ad una descrizione degli strumenti elettronici in generale e delle situazioni di misura tipiche delle Telecomunicazioni.

**PROGRAMMA**

Il corso è diviso in quattro parti.

Nella prima, la impostazione metrologica viene sviluppata con una descrizione generale di un processo di misura e nozioni sul trattamento e sulla propagazione degli errori. Ovviamente in questa parte verranno fornite notizie sul Sistema SI e sulla organizzazione metrologica nazionale e internazionale.

Nella seconda parte verranno introdotti gli strumenti fondamentali di stimale (generatori, oscillatori, sintetizzatori) e quelli di analisi, come oscilloscopi, voltmetri in continua e in alternata, analogici e numerali. Questa seconda parte è accompagnata da alcune esercitazioni sperimentali in laboratorio.

La terza parte è riservata alla illustrazione di alcuni apparati per la determinazione sperimentale del valore di alcune grandezze (potenza, impedenza, ecc.), mentre l'ultima parte è dedicata alle misure caratteristiche delle telecomunicazioni, sia analogiche, sia numeriche. Gli argomenti considerati sono misure di indice di modulazione, uso di rumori analogici e numerici nelle telecomunicazioni, misure di campo e cenni di compatibilità elettromagnetica.

**ESAME**

L'esame consiste in una prova scritta di durata inferiore alle tre ore, nella quale verranno proposti alcuni esercizi, uno dei quali avrà attinenza con una delle esercitazioni.

Seguirà un colloquio della durata di circa mezz'ora, che verterà sulla prova scritta e su argomenti coperti dal corso.

**BIBLIOGRAFIA**

E. Rubiola, A. De Marchi, S. Leschiutta: "*Esercizi di Misure Elettriche ed Elettroniche*", CLUT, Torino, 1996.

S. Leschiutta: "*Misure Elettroniche*", Pitagora, Bologna 1996.

E. Rubiola: "*Laboratorio di Misure Elettroniche*", CLUT, Torino, 1993.

R.A. Witte: "*Spectrum and Network Measurements*", Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1991.

R.A. Witte: "*Electronic Test Instruments*", HP-Prentice Hall, N.J., 1993.

C.A. Vergers: "*Electrical Noise Measurement and Technology*", TAB Books, USA, 1987.

A. De Marchi, L. Lo Presti: "*Incertezze di misura*", CLUT, Torino, 1993.

**L3620****Misure a iperfrequenze**

Anno: Periodo 5:2 Lezione, Laboratorio:4+4 (ore settimanali)

Docente: Umberto Pisani (Collab.: Andrea FerreroElettronica)

Il corso si propone di presentare le tecniche di misura e la particolare strumentazione utilizzata nel campo delle frequenze che vanno dal gigahertz alle onde millimetriche. Questo settore, tipico delle telecomunicazioni, richiede metodi e strumenti molto diversi da quelli solitamente utilizzati nel campo della metrologia elettrica alle frequenze più basse, per il fatto che l'oggetto della misura ha le caratteristiche di un circuito a parametri distribuiti. Saranno illustrate le moderne procedure di caratterizzazione dei dispositivi e componenti passivi e attivi ad una o a più porte sia in regime di linearità sia in regime di ampio segnale. Il corso comprende lezioni teoriche in aula ed esercitazioni sperimentali in laboratorio.

**REQUISITI**

*Campi elettromagnetici, Microonde.*

**PROGRAMMA**

- Richiami sulla matrice "scattering" sue proprietà e tecniche di rappresentazione mediante grafi di flusso. Tecnica di riduzione dei grafi: metodo di Kun e regola di Mason [4 ore]
- Generatori di segnali per microonde, "sweep generators", generatori sintetizzati [3 ore]
- Misura di potenza con le tecniche di tipo bolometrico e a termocoppia nonché la loro applicazione nei moderni power meters automatici. Calorimetri e microcalorimetri. Misure di potenza di picco [8 ore]
- Misure di attenuazione: Attenuatori *standard* a iperfrequenze. Metodi di sostituzione R.F., I.F., A.F. [4 ore]
- Misura della matrice di diffusione di bipoli e doppi bipoli: Metodo riflettometrico con l'analizzatore di reti vettoriale. Errori sistematici. Procedura di calibrazione di un banco per misura. Valutazione delle, incertezze e tecniche di taratura [14 ore]
- Tecniche di riflettometria nel dominio del tempo: uso dell'analizzatore di reti vettoriale per la riflettometria "sintetica" [4 ore]
- Tecniche di caratterizzazione per dispositivi attivi quali MESFET in regime lineare. Estrazione di parametri del modello lineare. Misure di dispositivi su "wafer" [4 ore]
- Caratterizzazione in regime di non linearità: tecniche di Mazumder, Takayama, "load-pull" con carico attivo [4 ore]
- Sistemi di misura di tipo scalare: Analizzatori di reti scalari. Riflettometro a 6 porte [6 ore]
- Misure su amplificatori: misure di compressione e di "intercept-point" [2 ore]
- Misure di rumore di doppi bipoli passivi; parametri di rumore di dispositivi attivi e loro misura [6 ore]
- Cenni ai sistemi di misura automatizzati e programmabili (interfaccia *standard* GP-IB) [4 ore]

## LABORATORIO

1. Analisi di reti mediante i grafi di flusso
2. Componenti tipici delle microonde (cavi, connettori, accoppiatori, circolatori, filtri yig, ecc.)
3. Generatori di segnale: uso di *sweep* e loro sincronizzazione con oscillatori a quarzo
4. Livellamento della potenza in uscita
5. Misure di potenza con bolometro, termocoppia e rivelatori a diodi (taratura degli stessi)
6. Visita al laboratorio *standard* di potenza dell'Istituto Nazionale Galileo Ferraris ed esperimenti col microcalorimetro
7. Studio dettagliato dell'analizzatore di reti HP 8720 e 8510. Familiarizzazione con le tecniche di taratura
8. SOLT a 12 termini e TRL
9. Misure con l'analizzatore di matrici *scattering* di reti passive
10. Misure su transistori: matrice *scattering* e estrazione dei parametri del modello lineare
11. Misure con banco riflettometrico a 6-porte
12. Misure nel dominio del tempo con il "*transition analyzer*"

## BIBLIOGRAFIA

G.H. Bryant, "*Principles of microwave measurements*", Peter Peregrinus

**Testi ausiliari**

P.I. Somlo, J.D. Hunter, "*Microwave impedance measurement*", 1985, Peter Peregrinus

A.E. Bailey, "*Microwave measurement*", 1985, Peter Peregrinus

A. Phantom, "*Radio Frequency and microwave power measurement*", 1990, Peter Peregrinus

## ESAME

L'esame consiste in una prova orale.

**L3670****Misure elettroniche**

Anno: Periodo 4:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+2+4 (ore settimanali)

Docenti: (I corso) Andrea De Marchi

(II corso) Sigfrido Leschiutta

Si tratta di un corso obbligatorio per tutti gli indirizzi di Ingegneria Elettronica.

Il corso si propone di introdurre gli allievi al mondo della misurazione e di sviluppare, con esempi di uso, i principali strumenti di misura usati in ricerca e in produzione.

Tali conoscenze sono particolarmente utili, nel senso che attualmente la strumentazione usata per valutare l'intensità di qualsiasi grandezza, anche non elettrica, solitamente è di tipo elettronico. Un apposito trasduttore traduce la grandezza di interesse - pressione, allungamento, temperatura, umidità, costante dielettrica, ecc. - in un segnale elettrico - un tempo, una frequenza, una tensione - che viene poi misurato con la strumentazione presentata nel corso.

Questo corso può essere utilmente preceduto dai due corsi facoltativi di Teoria e Pratica delle Misure e di Misure Elettriche e può essere completato da uno o più dei numerosi corsi di indirizzo, quali Misure su Sistemi di Trasmissione e Telemisura, Sensori e Trasduttori, Compatibilità Elettromagnetica, Strumentazione biomedica, Misure a Iperfrequenza, Strumentazione e Misure Elettroniche.

**PROGRAMMA**

Il programma è articolato per tener conto che l'avvio del ciclo delle esercitazioni di laboratorio in pratica è contemporaneo all'inizio del corso in aula.

Vengono descritti, nella prima parte del corso gli strumenti usati per eccitare un quadripolo (generatori, oscillatori, sintetizzatori) e per analizzare la risposta (oscilloscopio, voltmetri, voltmetri selettivi, analizzatori di spettro).

Una seconda parte del corso è destinata alla misurazione di grandezze elettriche specifiche (potenza, impedenza, resistenza, capacità, rumore), mentre nella terza parte si descrivono alcune misure su sistemi complessi od automatici, come misure di campo.

Durante il corso vengono pure svolte alcune ore, in aula, di preparazione alle esercitazioni e alcune ore dedicate alla teoria degli errori e trattamento dei dati.

Del corso fanno parte integrante 4-5 esercitazioni sperimentali in laboratorio, ognuna della durata di quattro ore, svolte sotto la guida di un docente ed alcuni collaboratori.

**BIBLIOGRAFIA**

E. Doebelin: "*Measurement Systems*", Mc Graw-Hill, - argomenti di carattere generale e trasduttori - , New York, 1990.

E. Rubiola, A. De Marchi, S. Leschiutta: "*Esercizi di Misure Elettriche ed Elettroniche*", CLUT, Torino, 1995.

S. Leschiutta: "*Misure Elettroniche*", Pitagora, Bologna 1996.

C. Offelli, D. Petri: "*Lezioni di strumentazione elettronica*", Cittastudiedizioni, Milano, 1994.

M.Savino: "*Fondamenti di scienza delle misure*", La nuova Italia Scientifica Roma, 1992.

E.Rubiola: "*Laboratorio di Misure Elettroniche*", CLUT, Torino, 1993.

E.Arri, S.Sartori: "*La misura delle grandezze fisiche - argomenti di metrologia*", Paravia, Torino, 1984.

#### ESAME

L'esame consiste in una prova scritta, della durata di tre ore, durante la quale vengono proposti 4-5 esercizi. La prova scritta è seguita di regola da un colloquio, della durata di circa mezz'ora, che verte sul compito e su argomenti svolti a lezione. Solitamente una delle domande scritte verte su una delle esercitazioni sperimentali.

**N3690****Misure per l'automazione e la  
produzione industriale**

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Laboratorio (a settimane alterne):6+4 (ore settimanali)

Docente: Franco Ferraris (Collab.: Marco Parvis)

Il corso intende fornire le nozioni fondamentali sui metodi e i sistemi di misura usati nell'automazione industriale. Sono descritti i principali trasduttori/attuatori, con segnale di misura/attuazione elettrico, utilizzati nel controllo dei processi e gli strumenti sia analogici sia digitali per la misurazione di grandezze elettriche. Particolare enfasi è data agli strumenti a microprocessore e ai sistemi automatici di acquisizione e distribuzione dei dati.

**REQUISITI***Reti logiche, Elettronica applicata I***PROGRAMMA**

- (orientativamente articolato su una decina di argomenti descritti in modo più ampio dell'attuale)
  - Il procedimento conoscitivo sperimentale - Cenni di teoria della misurazione - Incertezze - Modello deterministico - Modello probabilistico - Le misurazioni dirette - Le misurazioni indirette - Esempi di calcolo delle incertezze
- Caratterizzazione metrologica di un dispositivo - Il Sistema SI - I campioni - Diagramma di produzione di una misurazione
- L'oscilloscopio: TRC - canale verticale - canale orizzontale - generatore base tempi - Doppia base tempi - Doppia traccia - Oscilloscopio a memoria - Oscill. a memoria digitale
- Strumenti elettromeccanici - Strumenti analogici per c.c. - Voltmetri analogici per c.a.: a valor medio, di cresta, a vero e quasi vero val. eff. - Convertitori D/A - Voltmetri digitali: approssimazioni successive - inseguimento - parallelo - rampa doppia - Misure di corrente
- I metodi di zero - Ponte di Wheatstone - Varianti del ponte di Wheatstone
- Sensori di grandezze fisiche - generalità - Scale di temperatura - Sensori di temperatura - Cenni ad altri tipi di sensori
- Processi automatici di misurazione - Generalità sulle interfacce - Gli strumenti intelligenti - I sistemi di acquisizione automatica dei dati: generalità - elementi funzionali ed architetture - Interfacce parallele - Interfacce seriali
- Bus GPIB - generalità - Bus IEEE488-1: principali comandi - comandi universali e indicizzati - Introduzione a IEEE488-2
- VME bus: Introduzione - Data Transfer Bus - Data Arbitration bus - Interrupt bus - Altri bus - VXI bus

## ESERCITAZIONI

1. Esempi di calcolo delle incertezze
2. Esempio di progetto di un sistema automatico per la misurazione di temperature

## LABORATORIO

1. Uso dell'oscilloscopio - prima e seconda parte
2. Confronto delle prestazioni di voltmetri in a.c.
3. Uso di sensori di temperatura: PT100 - prima e seconda parte
4. Tesina sperimentale: progetto di misurazione e uso di un sistema automatico per l'acquisizione dei dati; elaborazione dei dati sperimentali

## BIBLIOGRAFIA

Copie delle trasparenze presentate a lezione

G. Zingales, "*Misure Elettriche: metodi e strumenti*", UTET, Torino 1992

E. Rubiola, "*Laboratorio di Misure Elettroniche*", CLUT, Torino 1993

**Testi ausiliari**

A. De Marchi, L. Lo Presti, "*Incertezze di misura*", CLUT, Torino, 1993

E. Arri, S. Sartori, "*Le misure di grandezze fisiche*", Paravia, Torino, 1984

H. K. P. Neubert, "*Instrument transducers*", Clarendon Press, Oxford, 1975

C. Offelli, "*Strumentazione elettronica*", Edizioni Libreria Progetto, Padova 1991

G. Costanzini, U. Garnelli, "*Strumentazione e misure elettroniche*", Zanichelli Bologna

## ESAME

Orale. L'esame verterà su quanto illustrato a lezione, su esercizi di stima di incertezze, su una discussione sulle modalità di svolgimento e sui risultati ottenuti nelle esercitazioni sperimentali.

**E1754****Elettronica dello stato solido (r)**

Anno: Periodo 5:2 Lezione/Esercitazione, Laboratorio: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 nel 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. Fra i 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 nell' svolgimento e nella discussione orale di un progetto di simulazione numerica di dispositivi.

**N3800-L3800****Modellistica e identificazione**

Anno : Periodo X:1 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali)  
80+20 (nell'intero periodo)

Docente: Vito Mauro

Il corso si propone di dare agli studenti elementi di base per i problemi di rappresentazione di sistemi dinamici mediante modelli matematici approssimati e identificati da misure sperimentali. Il corso quindi tratta i problemi di approssimazione e dedica ampio spazio alla statistica e ai processi stocastici. I metodi di identificazione presentati vengono illustrati con alcune applicazioni a problemi reali su modelli anche relativamente complessi.

**REQUISITI**

*Teoria dei sistemi.*

**PROGRAMMA***Parte 1 - Fondamenti*

- Spazi lineari e spazi normati (richiami), spazi di Hilbert. Problemi di norma minima negli spazi di Hilbert. Applicazione a problemi di approssimazione lineari. Procedura di Gram-Schmidt. Serie di Fourier. Probabilità e statistica (richiami). Spazi di variabili aleatorie. Il problema della stima. Proprietà delle stime. La stima di massima verosimiglianza. Metodi ricorsivi. Applicazione a problemi lineari: pseudoinverse e stime di minimi quadrati, di Gauss-Markov, di massima verosimiglianza. Problemi vincolati. Applicazioni a problemi di rappresentazione. La scelta dell'ordine di approssimazione

*Parte 2 - Applicazioni ai sistemi*

- Applicazioni a sistemi dinamici lineari. Stimatori recursivi generalizzati. Il filtro di Kalman discreto. Discretizzazione di sistemi continui e analisi in frequenza. Generalizzazione a modelli lineari, modelli *arma* e polinomiali in genere, modelli non lineari. Stimatori recursivi e loro uso per l'identificazione parametrica nei vari modelli.
- I processi stocastici, nozioni fondamentali, correlazioni e spettri e loro stime. Relazioni tra spettri su sistemi lineari. Applicazione all'identificazione. Ortogonalizzazione di processi e fattorizzazioni. Relazione col filtraggio.
- Illustrazione su casi pratici. Problemi di identificabilità. Problemi di complessità del modello.

**ESERCITAZIONI**

Applicazioni della teoria a casi semplici con sviluppo dei calcoli o impostazione dettagliata degli algoritmi. Tecniche numeriche per modelli dinamici.

## BIBLIOGRAFIA

Appunti distribuiti a lezione.

G.Menga, *Appunti di modellistica e identificazione*, CELID, Torino.

Bittanti, Guardabassi, *Sistemi incerti*, CLUP, Milano.

F.L. Lewis, *Optimal Estimation*, J. Wiley (parte 2)

D.G. Luenberger, *Optimisation by vector space methods*, J. Wiley (parte 1)

## ESAME

L'esame è orale e si basa sulla discussione della soluzione progettuale data dallo studente ad un semplice caso pratico. La soluzione del caso precede immediatamente la discussione orale; lo studente può utilizzare i testi e gli appunti.

**L8720-N8720****Ottimizzazione**

Anno: Periodo 5:2 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Roberto Tadei (Collab.: Federico Della Croce)

Il corso di Ottimizzazione è la naturale continuazione del corso di Ricerca Operativa, nell'ottica di fornire agli studenti una formazione la più completa ed approfondita possibile nel campo delle teorie, dei metodi e degli algoritmi volti alla risoluzione di problemi di ottimizzazione complessi.

Il corso ha l'obiettivo di dotare gli studenti di strumenti avanzati per l'ottimizzazione di problemi nel continuo, ma soprattutto nel discreto, sia lineari sia non lineari. Problemi di questo tipo si trovano diffusamente nell'ingegneria dei sistemi informatici e dei sistemi di automazione, nell'ingegneria elettronica ed in quella delle telecomunicazioni, come ad esempio: progettazione di circuiti, trasmissione di segnali, diagnostica degli errori, sequenziamento e schedulazione ecc.

Partendo da una serie di problemi reali complessi del tipo sopra detto, si sviluppa la teoria di analisi e di soluzione, si costruiscono gli algoritmi relativi e si verifica la loro efficienza ed efficacia anche mediante implementazione su calcolatore.

Durante il corso verranno proposte agli studenti tesine di ricerca, attinenti agli argomenti trattati.

Il corso (dispense, comunicazioni, tesi e tesine, seminari, collegamenti con altri centri di studio ecc.) sarà disponibile all'interno del servizio Ulisse.

**REQUISITI**

*Ricerca operativa*

**PROGRAMMA**

- Aspetti di base della Programmazione Intera [4 ore]
- Complessità computazionale [6 ore]
- Metodo Branch and Bound e Metodo dei Piani Secanti [8 ore]
- Localizzazione di mediane e centri su grafo [16 ore]
- Problema del ricoprimento e del ricoprimento massimale [8 ore]
- Problema del Commesso Viaggiatore e del Postino Cinese [14 ore]
- Problema dello Zaino [6 ore]
- Programmazione dinamica [8 ore]
- Sequenziamento e schedulazione su macchina singola e su più macchine [22 ore]
- Programmazione non lineare [8 ore]
- Cenni di teoria poliedrale [4 ore]

**ESERCITAZIONI**

Per ciascuno dei punti del programma verranno svolte esercitazioni in aula ed in laboratorio, con utilizzo di *software* di ottimizzazione.

## BIBLIOGRAFIA

Dispense del corso

**Testi ausiliari**M. Gondran, M. Minoux, "*Graphs and algorithms*", Wiley, 1984D.J. Luenberger, "*Introduction to Linear and Nonlinear Programming*", Addison Wesley, 1973F. Maffioli, "*Elementi di programmazione matematica, Vol. 1 e 2*", Masson, Milano, 1990S. Martello, D. Vigo, "*Esercizi di Ricerca Operativa*", Progetto Leonardo, Bologna, 1994M. Minoux, "*Mathematical Programming. Theory and Algorithms*", Wiley, 1986

## ESAME

Il corso prevede due esoneri scritti durante il semestre, della durata di 2 ore ciascuno. Il superamento di entrambe gli esoneri può sostituire l'esame finale orale. In questo caso il voto finale si ottiene combinando i risultati dei due esoneri, pesati in funzione del programma, misurato in ore, coperto da ciascun esonero. Lo studente che volesse migliorare il risultato del I e/o del II esonero può sostenere l'esame orale relativamente al programma coperto dall'esonero stesso. In tale caso il risultato dell'esonero viene dimenticato. Gli esoneri hanno una validità temporale che coincide con l'anno accademico nel quale sono stati svolti.

Le tesine di ricerca danno diritto ad un incremento fino a 4 punti del voto finale, in funzione della qualità del lavoro di ricerca svolto

**L3870****Optoelettronica**

Anno: Periodo 4,5:2 Lezione, Laboratorio: 8+10 (ore settimanali)

Docente: Ivo Montrosset

In questi ultimi anni un crescente sviluppo hanno avuto le tecniche ottiche di trasmissione dell'informazione e di elaborazione dei segnali. In questo corso, partendo da una descrizione fenomenologica degli effetti fisici utilizzati ed arrivando ad un modello quantitativo, utile per la progettazione e valutazione delle caratteristiche sistemistiche, vengono studiati dispositivi optoelettronici utilizzati prevalentemente nelle comunicazioni ottiche e nell'elaborazione ottica dei segnali.

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

**REQUISITI**

*Campi elettromagnetici I*

**PROGRAMMA**

*Dispositivi e sistemi per la trasmissione in fibra ottica*

– Introduzione ai materiali ed alle tecnologie per l'optoelettronica e l'ottica integrata:

[12 ore]

Caratteristiche fisiche dei materiali semiconduttori; effetto iniezione portatori, pompaggio ottico, guadagno, elettro assorbimento e rifrazione, non linearità ottiche etc. in materiali di varia dimensionalità (massivi, *quantum well*, *wire*, *box*)

– Cenni sulle guide dielettriche: [8 ore]

Guide planari per componenti optoelettronici integrati in materiali semiconduttori, Niobato di Litio e vetri

– Formulazione e rappresentazione degli effetti di interazione in guide dielettriche integrate: [8 ore]

Presentazione sintetica della teoria dell'accoppiamento modale, reticoli, effetti elettroottico ed acustoottico

– Laser a semiconduttore: [24 ore]

*Laser Fabry-Perot: equazioni di bilancio, caratteristiche statiche, monomodalità, modulazione elettrica, larghezza riga. Laser a reazione distribuita: strutture tipo DBR e DFB, multielettrodo e multisezione per il controllo spettro, modulazione, accordabilità e larghezza di riga. Amplificatori ottici: strutture ad onda progressiva e risonanti, caratteristiche spettrali, guadagno, saturazione, uso come interruttore, filtro attivo, etc.. Laser ad emissione e a cavità verticale*

– Dispositivi a semiconduttore non lineari: [8 ore]

Effetti non lineari in guide, principi, formulazione. Bistabilità ottica in laser ed amplificatori. Convertitori di frequenza: in laser, amplificatori, nuove strutture

– Dispositivi attivi in fibre e guide drogate con terre rare: [8 ore]

Pompaggio ottico, formulazione problema, amplificatori, laser

- Modulatori elettroottici integrati: [12 ore]

Effetti usati in semiconduttori,  $\text{LiNbO}_3$ , materiali polimerici; strutture di modulatori di ampiezza e fase, con elettrodi concentrati od in onda continua; commutatori, etc.

- Fotodiodi: [4 ore]

Principi, materiali, parametri caratterizzanti, strutture (PIN, APD, SAM, SAGM), *front-end* ottico

- Modulatori acusto-ottici integrati: [8 ore]

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

- Integrazione optoelettronica e fotonica: [2 ore]

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

*Elaborazione ottica ed interconnessioni ottiche* [10 ore]

- Coerenza del segnale ottico, lenti come processori ottici, tecniche di filtraggio, cenni di olografia, ologrammi generati a calcolatore ed interconnessioni olografiche, riconoscimento ottico
- Elaborazione ottica in cristalli non lineari: fotorifrazione, mescolazione a 2 e 4 onde, coniugazione di fase, applicazioni

## ESERCITAZIONI

Non esiste una separazione fra esercitazioni e lezioni.

Nei laboratori [10 ore] verrà mostrata l'utilizzazione di strumentazione ottica per la caratterizzazione di laser a semiconduttore e guide ottiche.

## BIBLIOGRAFIA

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

## L4360-F4360 Propagazione

Anno: Periodo 5:2 Lezione, Esercitazione: 4/6+4/2 (ore settimanali)

Docente: Giovanni Perona

Il corso intende descrivere i fenomeni fisici che determinano le caratteristiche della propagazione delle onde elettromagnetiche, l'utilizzazione della propagazione stessa per la trasmissione ed il reperimento di informazioni (ponti radio, radiodiffusioni, radar) nonché i vincoli imposti dalla propagazione delle radio onde sulle specifiche tecniche degli apparati e dei sistemi usati. Il corso è articolato in lezioni ed esercitazioni anche di carattere numerico.

### REQUISITI

*Campi elettromagnetici I (ELN), Campi elettromagnetici II (TLC)*

### PROGRAMMA

*Bande di frequenza e loro uso:* [10 ore]

- Gli usi delle varie bande di frequenza e i fenomeni fisici che ne influenzano la propagazione sono esaminati a partire da frequenze di qualche Hz fino a frequenze ottiche. Elementi sulle antenne: in breve ed in forma semplice sono descritti vari tipi di antenne, la loro caratterizzazione ed uso, i circuiti equivalenti, il guadagno, l'area equivalente

*Principi di ottica geometrica:* [14 ore]

- Richiami dal corso di campi elettromagnetici. Ottica geometrica in mezzi con indice di rifrazione lentamente variabile; equazione del raggio ed equazione di trasporto

*Propagazione troposferica:* [16 ore]

- Indice di rifrazione dell'atmosfera terrestre, equazioni dell'ottica geometrica, raggio equivalente terrestre, *ducting* troposferico, propagazione in presenza di pioggia e nebbia, zone di Fresnel, propagazione in presenza di ostacoli, *scattering* da superfici ruvide

*Propagazione ionosferica:* [20 ore]

- Indice di rifrazione nei plasmi, vettore di Poynting generalizzato, approssimazione quasi-longitudinale e quasi-trasversale, la ionosfera terrestre, effetti sulla propagazione delle onde radio, velocità di gruppo

*Effetti propagativi sui sistemi di telecomunicazione:* [10 ore]

- Potranno essere sviluppati i seguenti argomenti:
  - Ponti radio analogici e digitali nelle applicazioni telefoniche; effetti della superficie terrestre sui collegamenti e relative modellizzazioni
  - Radar: specifiche tecniche, esempi di applicazioni, cenni di radarmeteorologia
  - Effetti troposferici e ionosferici sui segnali GPS (*Global Positioning System*), modelli per correzione, ecc.
  - Cenni sui sistemi radiomobili analogici e digitali, sistemi cellulari e problemi dovuti alla propagazione
  - Radar ad apertura sintetica: specifiche tecniche ed esempi di applicazione

## ESERCITAZIONI

1. Numero due esercitazioni su collegamenti in ponte radio in presenza di ostacoli
2. Approssimazione quasi-longitudinale e quasi trasversale in un modello semplificato di atmosfera
3. Ritardo di gruppo e propagazione dei whistlers nella magnetosfera
4. Calcolo della altezza virtuale degli echi ionosferici
5. Il ritardo ionosferico e le correzioni da apportare ai segnali GPS
6. Valutazione degli echi di un radar meteorologico

## BIBLIOGRAFIA

Livingston, "*Theory of microwave propagation*", Prentice Hall, 1970

Ratcliff, "*The magneto-ionic theory and its applications*", Cambridge, 1962

## ESAME

Esame orale.

**N4521****Reti di calcolatori I**

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 6+2+4 (ore settimanali)

Docente: Luigi Ciminiera (Collab.: Riccardo Sisto)

Il corso ha lo scopo di analizzare le architetture, i protocolli ed i servizi nelle reti di calcolatori. Verranno esaminate sia le soluzioni basate su norme internazionali, sia le reti proprietarie a più larga diffusione. Nel corso delle lezioni verranno trattate reti locali (LAN), metropolitane (MAN) e geografiche (WAN) per applicazioni di tipo generale, come pure esempi di reti locali che rispondono ad esigenze specifiche, quali quelle per l'automazione industriale.

**REQUISITI**

*Calcolatori elettronici, Sistemi Operativi.*

**PROGRAMMA**

- Introduzione alle tecniche di trasmissione dati, nomenclatura, modello di riferimento ISO-OSI
- Principali caratteristiche dei mezzi trasmissivi e delle tecniche di codifica dei bit
- Il livello *data link*: generalità, HDLC, reti locali IEEE 802, FDDI
- Il livello di rete: generalità, algoritmi di instradamento, X25, Internet Protocol
- Il livello di trasporto: generalità, OSI TP, TCP
- *Remote Procedure Call*, cenni su ASN.1, tecniche di compressione, crittografia
- Il livello di applicazione: MHS, HTTP, SMTP
- Meccanismi di gestione delle reti: SNMP, DNS
- Reti per l'automazione di fabbrica

**ESERCITAZIONI**

1. Modem, Fax, RS232, Porta seriale del PC
2. Tecniche per lo sviluppo e l'implementazione dei protocolli (tecniche formali, interfaccia dei *socket* BSD4.3)
3. Reti pubbliche: X28, X29, ISDN
4. Protocolli del livello applicazione Internet: Telnet, FTP

**LABORATORIO**

1. Uso della porta seriale dei PC
2. Realizzazione di semplici protocolli utilizzando l'interfaccia dei *socket* BSD4.3 e RPC

**BIBLIOGRAFIA**

F. Halsall, "Data Communications, Computer Networks and Open Systems" (4th ed.), Addison Wesley

## ESAME

L'esame consiste in una prova scritta di circa 1 ora nel corso della quale non è possibile consultare alcun testo.

**N4522****Reti di calcolatori II**

Anno:Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Silvano Gai

Si tratta di un corso avanzato sulle reti di calcolatori che presuppone una conoscenza di base dei protocolli e delle topologie di rete, delle reti locali (LAN) e delle reti geografiche (WAN) e del modello di riferimento OSI. Vengono approfondite le soluzioni tecnologicamente più avanzate, quali le reti locali a 100Mbps, le reti ATM e le reti *wireless*. Inoltre il corso presenta dettagliatamente la rete Internet e i protocolli TCP/IP.

**REQUISITI**

*Reti di calcolatori I* (N4521), oppure *Reti di Telecomunicazioni* (F4531)

**PROGRAMMA**

- Reti di calcolatori multiprotocollo
- Reti locali ad alte prestazioni: IEEE 802.3u, 802.12
- Reti locali virtuali: IEEE 802.10, IEEE 802.1Q
- Reti locali *wireless*: IEEE 802.11
- Il cablaggio strutturato degli edifici: ISO/IEC 11801
- Il protocollo TCP/IP e la rete Internet: IPv4 e IPv6
- Internetworking di reti multiprotocollo
- Le reti ATM: utilizzo in ambito geografico e locale
- Emulazione di LAN su ATM e trasporto di TCP/IP su ATM

**ESERCITAZIONI**

1. *Esempi di architetture di rete:*
  - Novell/Netware
  - Microsoft LAN Manager
2. *Esempi di progetto di cablaggio strutturato:*
  - I cavi di rame
  - Le fibre ottiche
3. *Analisi dell'offerta di Telecom Italia:*
  - Canali Diretti Numerici, X.25, *Frame Relay*, SMDS, ISDN, ATM
4. *Progetti:*
  - *Internetworking* di reti locali
  - Interconnessione ad *Internet*

**LABORATORIO**

Uso di analizzatori di protocollo

Sviluppo di progetti riguardanti le tematiche del corso

## BIBLIOGRAFIA

S. Gai, P.L. Montessoro, P. Nicoletti, Reti Locali: dal Cablaggio all'Internetworking, SSGRR (Scuola Superiore G. Reiss Romoli), 1995, ISBN 88-85280-22-6

**Testi ausiliari**

Uyless Black, ATM: "*Foundation for Broadband Networks*", Prentice Hall, ISBN 0-13-297178-X

Christian Huitema, "*Routing in the Internet*", Prentice Hall, 1995, ISBN

Christian Huitema, IPv6: "*The new Internet Protocol*", Prentice Hall, ISBN 0-13-241936-X

Geoff Bennett, "*Designing TCP/IP Internetworks*", Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-44-201880-0

Matthew Naugle, "*Network Protocol Handbook*" McGraw-Hill, 1994, ISBN

## ESAME

L'esame consiste di due parti:

1. Un progetto relativo agli argomenti del corso
2. Un orale sugli argomenti trattati e sul progetto

**F4531****Reti di telecomunicazioni I**

Anno: Periodo 4:1 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Marco Ajmone Marsan

Il corso ha l'obiettivo di descrivere le caratteristiche delle reti di telecomunicazione esistenti ed in corso di sviluppo, spaziando dalla rete telefonica alle reti per dati a commutazione di pacchetto (sia a grandi distanze, sia in aree locali e metropolitane) ad Internet, alle reti integrate (ISDN e B-ISDN), alle reti per utenti mobili, alle reti fotoniche. Particolare attenzione verrà posta alla descrizione delle caratteristiche della tecnica ATM, su cui saranno basate le reti ad alta velocità della prossima generazione.

**REQUISITI**

*Teoria dei segnali I*

**PROGRAMMA**

*Funzioni nelle reti di telecomunicazione*

- Partendo dall'esperienza degli studenti con il sistema telefonico, si descriveranno le quattro funzioni di una rete di telecomunicazione: segnalazione, commutazione, trasmissione, gestione

*Topologie di rete*

- Saranno brevemente descritte le caratteristiche delle principali topologie per reti di telecomunicazione: maglia completamente connessa, albero, stella, maglia, anello, bus

*Servizi di telecomunicazione*

- Verrà presentata una classificazione dei servizi in reti di telecomunicazione, con particolare riferimento alla normativa relativa alle reti integrate ad alta velocità

*Qualità di servizio e teoria del teletraffico*

- Verranno messe in evidenza le relazioni tra servizi, caratteristiche di emissione delle sorgenti e traffico in reti di telecomunicazione; verrà presentato il problema relativo al progetto di una rete di telecomunicazione e si indicheranno gli strumenti usati per un approccio quantitativo al problema di progetto, evidenziando il fatto che il relativo settore disciplinare afferisce al corso di Reti di Telecomunicazione 2

*Tecniche di commutazione*

- Saranno brevemente illustrate le tecniche della commutazione di circuito e di pacchetto, evidenziando i relativi pregi e difetti rispetto ai requisiti di qualità di servizi di tipo diverso. Saranno evidenziate le interazioni con il corso di Sistemi di Commutazione

*Tecniche di segnalazione*

- Saranno brevemente illustrate le tecniche di segnalazione su canale associato e su canale comune e si discuteranno in qualche dettaglio gli aspetti relativi alle informazioni di numerazione

*Architetture e protocolli*

- Verranno fornite le definizioni relative alle architetture ed ai protocolli di una rete di telecomunicazione e saranno presentati alcuni esempi

*L'architettura OSI*

- Verrà presentata in qualche dettaglio l'architettura OSI, introducendo gli aspetti principali della nomenclatura e descrivendo gli oggetti più importanti e le loro relazioni. Verranno fornite brevi descrizioni delle funzioni relative ai 7 livelli

*Tecniche ARQ*

- Saranno descritte e studiate le tre principali tecniche ARQ, note con i nomi *stop and wait*, *go back n*, *selective repeat*

*Reti geografiche per dati*

- Verranno illustrate le problematiche relative alle reti per dati in ambito geografico, con particolare attenzione per le reti pubbliche di tipo X.25 e per la rete Internet con i relativi protocolli TCP/IP

*Reti locali e metropolitane di calcolatori*

- Si descriverà il mondo delle reti locali di calcolatori, partendo da Ethernet e Token Ring, ed esplorando le evoluzioni verso più alte velocità con FDDI e verso l'ambito pubblico con le reti metropolitane e DQDB. Verranno anche discussi i problemi e i vantaggi derivanti dall'interconnessione di più reti locali attraverso bridge

*Reti ATM*

- Verranno descritte le caratteristiche della B-ISDN e la relativa architettura di rete. Saranno studiati i principi di base della tecnica *ATM (Asynchronous Transfer Mode)* includendo sia i protocolli del livello ATM, sia i protocolli del livello di adattamento ad ATM (*AAL - ATM Adaptation Layer*). Sarà affrontato il problema del controllo del traffico in reti ATM. Verranno forniti cenni alla segnalazione in B-ISDN

*Reti fotoniche*

- Si descriveranno sistemi nei quali sia la trasmissione sia la commutazione dell'informazione trasportata dalla rete avvengono nel dominio ottico. Tali sistemi consentono prestazioni enormemente superiori rispetto alle reti operanti nel dominio elettrico, pur soffrendo di una più limitata capacità di elaborazione dell'informazione

*Reti per utenti mobili*

- Si descriveranno gli *standard* attuali per i servizi di telefonia mobile, con particolare riferimento ai sistemi DECT e GSM. Si discuteranno gli aspetti evolutivi relativamente ai futuri sistemi di telecomunicazioni personali

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni saranno dedicate alla illustrazione delle tecniche per la simulazione di reti di telecomunicazione ed alla realizzazione di alcuni semplici simulatori.

## LABORATORIO

Si organizzeranno alcune esercitazioni in laboratorio per istruire gli studenti nell'utilizzo di Internet.

## BIBLIOGRAFIA

Copia delle trasparenze presentate a lezione.

**Testi ausiliari**

A.Roveri, *“Reti di Telecomunicazioni - Parte I: Principi di Base”*, Edizioni Scuola Superiore G. Reiss Romoli, L'Aquila

ESAME

Colloquio orale e test scritto a risposta multipla.

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione:6+2 (ore settimanali)

Docente: Marco Ajmone Marsan

Il corso ha l'obiettivo di presentare le metodologie per un approccio quantitativo al progetto di reti di telecomunicazione. Verranno dapprima presentati gli elementi della teoria dei processi stocastici Markoviani con spazio degli stati discreto (catene di Markov). I risultati ricavati saranno poi utilizzati per lo studio di alcuni semplici modelli della teoria delle code, considerando sia code singole sia reti di code.

Saranno inoltre illustrati i modelli basati su reti di Petri stocastiche e gli elementi della teoria relativa. Le esercitazioni saranno rivolte all'applicazione delle metodologie presentate a lezione a semplici casi di studio tratti dal settore delle reti di telecomunicazione.

#### REQUISITI

*Reti di telecomunicazioni I, elementi di Teoria delle probabilità.*

#### PROGRAMMA

##### *Introduzione ai processi stocastici*

- Definizioni di base e richiami di teoria delle probabilità

##### *Processi Markoviani*

- Definizioni ed importanza della densità di probabilità esponenziale negativa

##### *Catene di Markov a tempo discreto*

- Definizione; calcolo della distribuzione al passo  $n$ ; condizioni per l'esistenza della distribuzione di regime; calcolo della distribuzione di regime; tempi di soggiorno; catene di nascita e morte; esempi

##### *Catene di Markov a tempo continuo*

- Definizione; calcolo della distribuzione al tempo  $t$ ; condizioni per l'esistenza della distribuzione di regime; calcolo della distribuzione di regime; tempi di soggiorno; catene di nascita e morte; il processo di Poisson; la catena di Markov interna; esempi. Aggregazione di stati in catene di Markov; Processi semi-Markov. Teoria dell'innovazione

##### *Teoria delle code*

- Notazione di Kendall; la coda M/M/1; il risultato di Little; la coda M/M/m; La formula Erlang C; confronto tra code a servitore singolo ed a servitore multiplo; il caso di infiniti servitori; il caso di assenza di fila di attesa; la formula Erlang B; il caso di popolazione infinita; la coda M/G/1; code con vacanze; il teorema di Burke; reti di code di Jackson; reti di code di Gordon e Newell; reti BCMP; reti di code con blocco

##### *Reti di Petri*

- Definizioni; proprietà di modelli a reti di Petri; reti di Petri con temporizzazione sulle transizioni; reti di Petri stocastiche (SPN); isomorfismo tra SPN e catene di Markov a tempo continuo; reti di Petri stocastiche generalizzate (GSPN) e loro analisi

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni saranno rivolte all'applicazione delle metodologie presentate a lezione a semplici casi di studio tratti dal settore delle reti di telecomunicazione.

## BIBLIOGRAFIA

Dispense del docente.

### **Testi ausiliari**

L.Kleinrock, "*Sistemi a coda*", Hoepli, 1992

M.Ajmone Marsan, G.Balbo, G.Conte, S.Donatelli, G.Franceschinis, "*Modelling with GSPN*", John Wiley, 1995

## ESAME

Prove scritte a metà ed a fine corso.

**LA290****Reti elettriche non lineari**

Anno: Periodo 4,5: 2 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali), Laboratorio: 8 (ore annuali)

Docente: Mario Biey

Il corso, rivolto a studenti dei corsi di Laurea in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni, si propone di fornire i fondamenti per lo studio della dinamica dei circuiti elettrici non lineari, privilegiando gli aspetti ingegneristici ed applicativi. Durante il corso sono previsti seminari di docenti del Politecnico e di Istituzioni Univevrsitarie italiane ed estere per approfondire gli argomenti di maggiore interesse scientifico.

**REQUISITI**

*Elettrotecnica, Elettronica Applicata*

**PROGRAMMA**

- Riepilogo sulla teoria delle reti elettriche lineari, descritte da sistemi di equazioni differenziali a coefficienti costanti [4 ore]
- Descrizione dei più comuni dispositivi elettrici non lineari [4 ore]
- Reti elettriche non lineari: formulazione dell'equazione di stato per alcuni esempi: circuiti con *diode tunnel* e *giunzione Josephson*; *oscillatore di Van Der pol* e *circuito di Chua*. Comportamento qualitativo nello spazio delle fasi [4 ore]
- Teoria dei sistemi di equazioni differenziali non lineari: teoremi fondamentali [4 ore]
- Descrizione di alcuni dei principali strumenti per la simulazione di sistemi di equazioni differenziali non lineari: *matlab*, *mathematica*, *insite* [4 ore]
- Analisi della dinamica di circuiti elettrici non lineari:
  - a) Punti di equilibrio: definizione, stabilità e metodi per lo studio della stabilità (ad es. funzioni di Lyapunov) [6 ore]
  - b) Tecniche generali per la determinazione dei punti di equilibrio di circuiti resistivi non lineari. Applicazione a circuiti contenenti transistor. Circuiti resistivi lineari a tratti. Elementi di sintesi di circuiti resistivi con caratteristiche lineari a tratti [10 ore]
  - c) Cicli limite: definizione e teoremi fondamentali; esame dettagliato delle reti del II ordine e teorema di *Poincarè-Bendixon*; *circuito di Chua* quale esempio di rete del III ordine. Stabilità dei cicli limite e mappe di Poincarè [6 ore]
  - d) Tecniche generali per la determinazione delle soluzioni periodiche nel dominio del tempo e della frequenza (serie di Volterra, harmonic balance e metodo della funzione descrittiva). Applicazioni allo studio degli oscillatori [6 ore]
  - e) Attrattori non periodici: biforcazioni e caos. Tecniche qualitative per lo studio dei sistemi caotici: esponenti di Lyapunov e metodi spettrali [6 ore]
- Metodi numerici per la simulazione di reti elettriche non lineari. Implementazione *in Spice e Pila*. [6 ore]

- Reti composte da un elevato numero di celle non lineari e reti neurali. Concetto di stabilità completa ed estensione del metodo della funzione di Lyapunov. Tecniche spettrali e simulazione. Descrizione delle principali architetture di reti neurali e loro applicazioni [10 ore]
- Cenni sulla modellizzazione di dispositivi elettrici non lineari [2 ore]
- Cenni sui circuiti distribuiti non lineari [2 ore]

#### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni vertono sull'analisi teorica del comportamento dinamico di semplici reti elettriche non lineari e sulla simulazione di reti complesse, mediante opportuni programmi numerici per la soluzione di circuiti non lineari (*Spice e Pila*) e per la soluzione di sistemi di equazioni differenziali non lineari. Sono previste alcune esercitazioni in laboratorio, per osservare su circuiti reali i comportamenti dinamici descritti durante le lezioni.

#### BIBLIOGRAFIA

Non vi è un testo di riferimento. Il corso si basa su una dettagliata raccolta di articoli scientifici indicati dal docente che verranno integrati da dispense.

##### **Testi ausiliari**

L.O. Chua, "*Introduction to nonlinear network theory*", New York, Mc.Graw Hill, 1969  
 J. Guckenheimer, P. Holmes, "*Nonlinear oscillations, dynamical system, and bifurcations of vector fields*" Springer-Verlag, New York Inc., 1983

#### ESAME

L'esame consiste in una prova scritta, seguita da una discussione orale. La prova orale può essere sostituita da una tesina che consiste nell'approfondimento (sotto la guida del docente) di uno o più argomenti del corso che hanno un particolare interesse scientifico e di ricerca.

**L4540****Reti logiche (ELN)**

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione:4+4 (ore settimanali)

Docente: Luigi Gilli (Collab.: Gian Piero Cabodi)

Il corso si propone di illustrare le problematiche relative al progetto ed al collaudo di circuiti logici e di semplici sistemi di elaborazione. Il corso è integrato da esercitazioni pratiche durante le quali lo studente può apprendere l'uso di strumenti di verifica di progetto, ormai di uso corrente nei sistemi di ausilio alla progettazione elettronica (CAE).

**REQUISITI***Sistemi informativi I.*

*Reti logiche* è una delle poche materie che apparentemente non richiede altra preparazione di base che quella derivante dal conoscere la matematica e l'elettrologia delle scuole medie.

Tuttavia, se si desidera comprendere a fondo il comportamento delle reti logiche che sono prima di tutto reti elettriche è opportuno conoscere i fondamenti dell'*Elettrotecnica* ed i concetti fondamentali dell'*Elettronica*.

**PROGRAMMA**

*Teoria della commutazione (dall'inglese Switching Theory) comprende i seguenti argomenti fondamentali:*

- Sistemi di numerazione e codici: per poter comprendere il modo di operare dei circuiti logici dei sistemi di elaborazione
- Algebra booleana: strumento matematico utilizzato per trattare algebricamente le reti logiche
- Analisi delle reti logiche combinatorie, con particolare riferimento al loro comportamento dinamico, completata dall'esame dei principali circuiti in commercio
- Sintesi delle reti logiche combinatorie, con esposizione dei metodi di sintesi per ottenere reti di costo minimo
- Analisi delle reti logiche sequenziali, con particolare riferimento al loro comportamento dinamico, completata dall'esame dei principali circuiti in commercio
- Sintesi delle reti logiche sequenziali, con esposizione dei metodi di sintesi per ottenere reti prive di criticità e con particolare riferimento alle reti di tipo asincrono e a quelle di tipo sincronizzato, impieganti come blocchi fondamentali i *Flip-Flop*

*Collaudo e diagnostica delle reti logiche, contiene argomenti relativamente nuovi, ma divenuti di grande importanza negli ultimi anni, con il progredire della tecnologia dei circuiti integrati. Comprende i seguenti argomenti fondamentali:*

- Modellistica dei guasti nelle reti logiche loro classificazione e metodi per la determinazione delle varie classi
- Sintesi delle prove di collaudo per le reti combinatorie, con l'esame dei vari metodi e lo sviluppo di esempi significativi;
- Sintesi delle prove di collaudo per le reti sequenziali con studio di una metodologia per le reti sincronizzate

- Criteri generali di diagnostica dei guasti nelle reti logiche, con riferimento ad alcune metodologie di uso comune
- Concetti fondamentali di progetto per la collaudabilità
- Le problematiche del collaudo nella produzione di circuiti logici e principali tipi di macchine automatiche impiegate

*Sintesi formale di sistemi di elaborazione, riguarda una metodologia per il progetto di sistemi logici complessi che riconduca all'utilizzo dei concetti e delle nozioni apprese nella prima parte. Comprende i seguenti argomenti fondamentali:*

- Struttura generale dei sistemi di elaborazione: l'unità operativa, l'unità di controllo, la memoria centrale, le unità periferiche
- La descrizione formale di un sistema di elaborazione attraverso il linguaggio di tipo RT (*Register Transfer*)
- Il procedimento di sintesi, a partire dalla descrizione formale
- L'esempio della piccola unità centrale, con riferimento al set di istruzioni alla sua struttura interna con i principali registri, al progetto dell'unità operativa e dell'unità di controllo

*Sistemi a microprocessore, partendo da una descrizione della struttura generale dei sistemi a microprocessore e delle loro periferiche fondamentali, giunge alla descrizione completa del sistema 8086 e delle unità periferiche di uso comune. In particolare comprende:*

- Architettura generale dei sistemi a microprocessore. La gestione della memoria e delle periferiche
- L'organizzazione di una unità centrale ad 8 bit e il set di istruzioni, il loro formato e il loro modo di esecuzione
- Le periferiche fondamentali: le interfacce di tipo parallelo, di tipo seriale, i controllori di interruzione
- L'unità centrale 8086: la sua struttura interna, i suoi registri. I modi di indirizzamento della memoria e delle periferiche
- Il set di istruzioni dell'8086 e la loro temporizzazione
- L'interfaccia periferica parallela 8255
- L'interfaccia periferica parallela 8251
- L'unità di conteggio e temporizzazione 8253
- Il controllore di interruzioni 8259

## ESERCITAZIONI

1. Sistemi di numerazione e codici.
2. Minimizzazione di funzioni booleane.
3. Circuiti combinatori: Analisi e sintesi.
4. Circuiti combinatori: Componenti di tipo commerciale.
5. Circuiti sequenziali: Analisi e sintesi.
6. Circuiti sequenziali: Componenti di tipo commerciale.
7. Progetto formale: esempi di descrizione formale di piccoli sistemi di tipo speciale (macchine FSM complesse) e di relativo progetto.
8. Progetto formale: linguaggi di descrizione e simulazione.
9. Generazione di prove di collaudo per semplici reti logiche.

10. Sistemi a microprocessore: Progetto di piccoli sistemi a microprocessore e stesura dei relativi programmi Assembler.

#### BIBLIOGRAFIA

L. Gilli, "Elementi di reti logiche", CUSL, Nov. 1994

L. Gilli, "Collaudo e diagnostica dei circuiti digitali", CUSL, 1993

L. Gilli, "Progetto formale di sistemi di elaborazione - Sistema a microprocessore 8085", CUSL, 1993

#### Testi ausiliari

M. Breuer, "Manuali dei sistemi a microprocessore Intel"

#### ESAME

L'esame è composto di:

- Una prima prova scritta con cinque/sei esercizi da risolversi in un tempo dell'ordine di quaranta minuti, a ciascuno dei quali è assegnato un punteggio variante tra 2 e 4, in modo tale che la somma dei punteggi sia pari a 18; si supera la prova e si è ammessi alla seconda con un punteggio superiore a 9
- Una seconda prova, della durata di due ore consistente nella progettazione di una macchina FSM complessa. Il punteggio massimo di questa prova è 12, in modo tale che la somma dei punteggi delle due prove sia al massimo 30
- La prova orale, comprendente la discussione dello scritto ed eventuali domande integrative

**N4540****Reti logiche (INF)**

Anno: Periodo 3:2 Lezione ed Esercitazione:8 (ore settimanali); Laboratorio:2 (assistito), 2 (non assistito).

Docente: Paolo Prinetto (Collab.: Fulvio Corno)

Il corso si propone di illustrare le problematiche relative al progetto di circuiti logici e di semplici sistemi di elaborazione.

Il corso è integrato da esercitazioni pratiche durante le quali lo studente può verificare la correttezza dei propri progetti tramite sistemi di elaborazione. Oltre alle lezioni teoriche ed alle esercitazioni in aula sono previste esercitazioni sull'uso di strumenti CAD per la verifica della correttezza del progetto.

**REQUISITI**

*Calcolatori elettronici*

**PROGRAMMA**

- Il ciclo di vita di un prodotto *hardware* [4 ore]
- Algebre e funzioni booleane [2 ore]
- Introduzione agli strumenti CAE (*Computer Aided Engineering*) [2 ore]
- Il sistema *Viewlogic* [6 ore]
- Il linguaggio VHDL [6 ore]: Definizione del linguaggio. Stili di descrizione per diverse architetture di circuiti digitali
- Analisi e sintesi di circuiti combinatori [12 ore]: Principio di funzionamento. Analisi funzionale e temporale. Metodologie di sintesi a livello logico: manuale, automatica, parzialmente automatica. Metodologie di sintesi a livello RT (trasferimento tra registri)
- Principio di funzionamento di circuiti sequenziali asincroni [2 ore]
- Analisi e sintesi di Macchine a Stati Finiti semplici [16 ore]: Principio di funzionamento. Metodologie di sintesi a livello. Metodologie di sintesi a livello RT
- Metodologie e strumenti per la sintesi automatica di descrizioni VHDL [4 ore]
- Progetto di dispositivi XILINX [2 ore]
- Analisi e sintesi di Macchine a Stati Finiti complesse [16 ore]: Principio di funzionamento. Metodologie di sintesi a livello RT
- Introduzione al collaudo dei circuiti digitali [4 ore]

**ESERCITAZIONI**

Non esiste distinzione tra lezione ed esercitazione; le esercitazioni verteranno sull'esecuzione di progetti di varia natura, tramite le metodologie presentate a lezione.

**LABORATORIO**

1. Uso del sistema *Viewlogic* per progetto, simulazione e sintesi di circuiti custom e semi-custom
2. Realizzazione di alcuni progetti tramite dispositivi Xilinx

## BIBLIOGRAFIA

F. Corno, P. Prinetto, "Reti Logiche" (raccolta di lucidi), Levrotto&Bella, Torino, 1995

F. Corno, P. Prinetto, "Esercizi di Reti Logiche"

Durante il corso verrà distribuita copia dei lucidi relativa agli argomenti non trattati dal testo

Testi ausiliari

A. Frisiani, L. Gilli, "Introduzione alle reti logiche", Franco Angeli Editore, Milano, 1981

E.J. McCluskey, "Logic Design Principle with Emphasis on Testable Semicustom Circuits", Prentice Hall, Englewood Cliffs NJ (USA), 1986

## ESAME

L'esame è composto da tre prove:

- un *compito scritto*. Il compito è costituito da due parti, da sostenersi nello stesso appello. È possibile ritirarsi in qualsiasi momento
- una *prova di laboratorio*. La prova prevede il progetto di una FSM complessa. È richiesto un dischetto contenente:
  - La descrizione VHDL a livello system-behavioral e relativa simulazione
  - Il progetto a livello *RT-structural* ottenuto con *ViewDraw* (la descrizione della *Control Unit* e di ciascun blocco del *Data Path* possono essere svolte, indifferentemente, in VHDL o con *ViewDraw*) e relativa simulazione
  - Breve relazione (max 3 pagine, esclusi schematici, listati e forme d'onda) sul progetto svolto e sulle simulazioni fatte

Non esistono vincoli temporali sulla consegna delle prove obbligatorie. Una volta sostenuta, una prova rimane valida per 3 anni solari.

La valutazione finale si compone dei risultati dello scritto ( 9 punti per la prima parte e 18 per la seconda) e della prova di laboratorio (3 punti).

Gli studenti frequentanti possono optare per un lavoro sperimentale più approfondito (realizzazione di un progetto su scheda XILINK) in sostituzione della prima parte dello scritto e della prova di laboratorio. (12 punti).

## F4550-L4550-N4550 Ricerca operativa

Anno: Periodo 4,5:1 Lezione, Esercitazione:6+2 (ore settimanali)

Docente: Roberto Tadei (Collab.: Federico della Croce)

La Ricerca Operativa consiste nella costruzione di modelli razionali per la rappresentazione di problemi complessi e dei relativi algoritmi risolutivi.

Il corso si propone di dotare lo studente degli strumenti di base per modellizzare e risolvere una serie di problemi propri dell'ingegneria informatica e automatica, elettronica e delle telecomunicazioni.

La modellizzazione del problema consiste nella formulazione dello stesso in termini di programmazione matematica, cioè nella individuazione di funzione obiettivo da minimizzare o massimizzare e dei relativi vincoli, mentre la sua risoluzione consiste nella ricerca del minimo o del massimo nel rispetto dei vincoli e richiede l'utilizzo di algoritmi di calcolo. Per tutti i problemi trattati nel corso verranno presentati gli algoritmi più recenti, alcuni oggetto di ricerca presso il Dip., con particolare attenzione alla loro complessità computazionale.

Durante il corso verranno proposte agli studenti tesine di ricerca attinenti agli argomenti trattati.

Il corso (dispense, comunicazioni, tesi e tesine, seminari, collegamenti con altri centri di studio ecc.) è disponibile all'interno del servizio Ulisse.

### PROGRAMMA

- Aspetti di base della Programmazione Lineare [4 ore]
- Modellizzazione del problema [16 ore]
- Metodo del Simplex [16 ore]
- Dualità [12 ore]
- Trasporti [12 ore]
- Flussi su rete [18 ore]
- Algoritmo proiettivo per la Programmazione Lineare (o di Karmarkar) [8 ore]
- Cenni di Programmazione Intera [10 ore]
- Cenni di Programmazione Multi-obiettivo e Multi-livello [8 ore]

### ESERCITAZIONI

Per ciascuno dei punti del programma verranno svolte esercitazioni in aula ed in laboratorio con utilizzo di *software* di programmazione matematica). Particolare attenzione sarà rivolta alla costruzione del modello matematico partendo da problemi reali.

### BIBLIOGRAFIA

Dispense del corso

#### Testi ausiliari

M. Fischetti, "Lezioni di ricerca operativa", Libreria Progetto, Padova, 1995

D.J. Luenberger, "Introduction to Linear and Nonlinear Programming", Addison Wesley, 1973

- F. Maffioli, "*Elementi di programmazione matematica, Vol. 1 e 2*", Masson, Milano, 1990
- S. Martello, D. Vigo, "*Esercizi di Ricerca Operativa*", Progetto Leonardo, Bologna, 1994
- M. Minoux, "*Mathematical Programming. Theory and Algorithms*", Wiley, 1986
- F. Pezzella, E. Faggioli, "*Ricerca Operativa: Problemi ed Applicazioni Aziendali*", CLUA, Ancona, 1993

#### ESAME

Il corso prevede due esoneri scritti durante il semestre, della durata di 2 ore ciascuno. Il superamento di entrambe gli esoneri può sostituire l'esame finale orale. In questo caso il voto finale si ottiene combinando i risultati dei due esoneri, pesati in funzione del programma, misurato in ore, coperto da ciascun esonero. Lo studente che volesse migliorare il risultato del I e/o del II esonero può sostenere l'esame orale relativamente al programma coperto dall'esonero stesso. In tale caso il risultato dell'esonero viene dimenticato. Gli esoneri hanno una validità temporale che coincide con l'anno accademico nel quale sono stati svolti.

Le tesine di ricerca danno diritto ad un incremento fino a 4 punti del voto finale, in funzione della qualità del lavoro di ricerca svolto.

**L4580-N4580****Robotica industriale**

Anno:Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione (nella prima metà del corso), Laboratorio (nella seconda metà del corso): 6+2 (ore settimanali); 8 totali

Docente: Basilio Bona (Collab.: Ing. Marina Indri)

Il robot è un'apparecchiatura complessa sia sotto l'aspetto meccanico, sia sotto l'aspetto del controllo; per la comprensione e la soluzione delle problematiche di gestione e controllo dei robot sono necessarie conoscenze integrate di tipo automatico, informatico e meccanico.

Il corso ha l'obbiettivo principale di introdurre le moderne tecniche di controllo dei robot industriali, presentando sia le tecniche adottate a livello industriale sia alcune metodologie di controllo avanzato, utili in generale anche per la soluzione di problemi di controllo non strettamente legati al settore della robotica. A questo fine fornisce agli studenti le basi fisico-matematiche di cinematica, statica e dinamica, che permettono di giungere alla definizione del modello dinamico del robot industriale.

Data la natura di base del corso, non sono previsti argomenti legati alla robotica avanzata (robot mobili, organi di manipolazione, intelligenza artificiale, sensori di visione, ecc.).

Il corso non si rivolge soltanto a quanti sono strettamente interessati alla robotica industriale, ma possiede un carattere generale, in quanto presenta, applicandole ad una struttura elettromeccanica complessa, una serie di metodologie e di tecniche utili anche per coloro che si occuperanno di automatica e controlli in senso lato.

**REQUISITI**

Per le lezioni: sicuramente importante una conoscenza di base di algebra lineare: vettori, matrici, spazi lineari, basi, trasformazioni, determinanti, autovalori, autovettori, e tutto quanto il solito bagaglio. È certamente importante una predisposizione alla comprensione dei fenomeni fisici, soprattutto elettromeccanici, ed una certa capacità di comprendere concetti geometrici di difficile visualizzazione, come le roto-traslazioni tridimensionali, di cui si parlerà molto nella prima parte del corso. Per quanto riguarda la parte di controllo, non è richiesta alcuna conoscenza particolare, se non quella acquisita ai corsi di *Controlli Automatici Gen.* o *Controlli Automatici Spec.* Si darà per acquisita la conoscenza dei motori in corrente continua, visti come modello dinamico di trasformazione tra tensione e spostamento.

Per le esercitazioni sperimentali: è richiesta una conoscenza di base dei linguaggi MATLAB-SIMULINK e C (che non verranno spiegati), nonché una certa predisposizione (o la volontà di imparare) a lavorare su apparecchiature "delicate" e costose, che richiedono una certa attenzione da parte di chi le usa.

**PROGRAMMA**

*I Parte* [36 ore]

– Geometria delle rototraslazioni [12 ore]: sistemi di riferimento, rotazioni, traslazioni, rappresentazioni della rotazione (matrici ortonormali, parametri di Eulero,

quaternioni, vettori di Eulero e di Rodrigues), rappresentazioni della rototraslazione di un corpo rigido, matrici omogenee

- Cinematica [12 ore]: convenzioni di Denavit-Hartenberg, funzione cinematica diretta e inversa della posizione, funzione cinematica diretta e inversa della velocità, Jacobiano e sue proprietà, singolarità cinematiche
- Statica [4 ore]: relazione statica tra forza esterne applicate e momenti ai giunti, Jacobiano trasposto e sue proprietà, elasticità della struttura
- Dinamica [8 ore]: momento della quantità di moto, tensori di inerzia, equazioni di Newton-Eulero, equazioni di Lagrange, equazione dinamica del robot rigido, proprietà delle matrici d'inerzia e dei termini non lineari, passività

#### *II Parte [42 ore]*

- Pianificazione della traiettoria [6 ore]: impostazione del problema, pianificazione mediante coordinata curvilinea, pianificazione trapezoidale della velocità, pianificazione coordinata, pianificazione cartesiana, pianificazione dell'assetto
- Controllo lineare [8 ore]: controllo a giunti indipendenti, problematiche dovute alla non linearità e variabilità nel tempo dei parametri dinamici
- Controllo non lineare [12 ore]: controllo di coppia calcolata, linearizzazione globale esatta ingresso-uscita, linearizzazione approssimata, controllo robustificante
- Controllo di forza [6 ore]: interazione del robot con l'ambiente esterno, vincoli cinematici, controllo di rigidità a uno e più gradi di libertà, controllo mediante retroazione di forza, controllo di impedenza, impostazione e problematiche del controllo ibrido forza/posizione
- Controllo adattativo [10 ore]: illustrazione di tecniche di controllo adattativo basate sulla coppia calcolata e sulla conservazione della proprietà di passività, analisi della stabilità mediante funzione di Liapunov

#### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula svolgeranno esempi numerici relativi alle varie tecniche spiegate a lezione, con particolare attenzione a quegli aspetti che saranno argomento dell'esame. Durante le esercitazioni verranno illustrati alcuni temi d'esame passati per evidenziarne l'impostazione generale ed il tipo di risposta attesa.

#### LABORATORIO

Le esercitazioni sperimentali si svolgeranno presso il LADISPE in gruppi di 4-5 studenti; verrà utilizzato un manipolatore planare controllato da una scheda DSP montata su PC. Gli studenti, dopo aver eseguito alcune esercitazioni di base (movimento del manipolatore nello spazio dei giunti, nello spazio cartesiano, raccolta dati ed esperimenti vari di monitoraggio e tracciamento di grafici) dovranno progettare e realizzare semplici leggi di controllo digitale. Al termine dovranno predisporre una relazione scritta di gruppo, che costituirà elemento di valutazione, come di seguito specificato.

#### BIBLIOGRAFIA

Sono disponibili gli appunti preparati dal docente.

#### **Testi Ausiliari**

- L. Sciavicco, B. Siciliano, "*Robotica Industriale. Modellistica e Controllo di manipolatori*", McGraw Hill Italia, 1995.
- K.S. Fu, R.C. Gonzalez, C.S.G. Lee, "*Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*", McGraw Hill (edizione italiana) 1989.
- M.W. Spong, M. Vidyasagar, "*Robot Dynamics and Control*", John Wiley & Sons, 1989.
- H. Asada e J.-J.E. Slotine, "*Robot Analysis and Control*", John Wiley & Sons, 1986.
- F.L. Lewis, C.T. Abdallah, D.M. Dawson, "*Control of Robot Manipulators*", Mac Milan, 1993.

## ESAME

- Gli esami consistono in una prova scritta e in un colloquio relativo all'esercitazione di laboratorio
- Non è prevista alcuna altra prova orale
- La prova scritta viene svolta in due ore; lo studente deve rispondere a tre domande, eventualmente articolate in sotto domande; ogni domanda comporta un punteggio massimo di 10 punti. Il punteggio finale satura a 28/30
- Il colloquio orale viene valutato con un punteggio compreso tra 0 e 4, che viene sommato al punteggio dello scritto per dare il voto finale. I colloqui avranno luogo in due soli periodi, uno immediatamente successivo alla fine del corso, l'altro nell'ultima settimana dell'appello di febbraio. L'ordine con cui vengono svolti lo scritto e l'orale è ininfluenza sul voto finale
- Lo studente ha facoltà di ritirarsi in qualsiasi momento durante lo svolgimento della prova scritta, oppure di non consegnare l'elaborato (talvolta viene concesso anche un breve periodo di "ripensamento" successivo alla consegna). In tale caso lo studente può ripresentarsi in qualsiasi momento nei successivi esami. Qualora invece l'elaborato d'esame venga corretto dal docente, lo studente può rifiutare il voto, ma in tale caso non potrà presentarsi alla prova scritta immediatamente successiva nella stessa sessione
- Non è prevista la correzione in aula dei compiti; questi verranno mostrati agli studenti che ne faranno richiesta all'atto della registrazione dell'esame
- Gli elaborati vengono conservati per cinque anni
- La raccolta dei temi d'esame degli anni precedenti sarà disponibile a partire dal mese di dicembre

**E 468 1****Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I**

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 6+2 (ore settimanali);  
78+26 (nell'intero periodo)

Docente: *da nominare*

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* [12 ore]

La chimica del carbonio. Esame dei principali gruppi funzionali presenti nei polimeri e loro caratteristiche chimiche. Fenomeni di isomeria e stereoisomeria. Principali monomeri.

*Struttura e caratterizzazione delle macromolecole* [20 ore]

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

*Reazioni di polimerizzazione* [22 ore]

Polimeri di policondensazione: schema del processo e controllo del peso molecolare (P.M.), produzione industriale di poliesteri, poliammidi e policarbonati. Polimeri di poliaaddizione radicalica: condizioni operative, cinetica della reazione e controllo del P.M.. Reazioni di copolimerizzazione. Tecniche industriali di polimerizzazione e processi di produzione di polimeri di impiego generale (polietilene, polivinilcloruro e polistirene). Produzione di gomme sintetiche. Polimeri di poliaddizione ionica: polimerizzazione stereospecifica, produzione industriale di poliolefine.

*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.

*Tecnologie di trasformazione dei materiali polimerici termoplastici* [6 ore]

Additivi, cariche e compoundign. 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.

### ESERCITAZIONI E LABORATORI

Sono previste sia esercitazioni in aula con applicazioni di calcolo sugli argomenti di lezione sia 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 e saranno completate dalla stesura di una breve relazione. Si effettueranno 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

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

Anno: Periodo 5:1

Docente: Andrea De Marchi

#### PROGRAMMA

##### Introduzione:

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

##### Caratterizzazione metrologica:

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

##### Sensoristica tradizionale:

- *Strain Gauge*, termometria, piezometria, sensori fotovoltaici, rivelatori di radiazioni nucleari

##### Condizionamento di segnale:

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

##### Sensori ottici:

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

##### Nuove tecnologie:

- Sensori a polimeri piezoelettrici, sensori a risonatori acustici, sensori a film spesso, sensori a film sottile, microsensori al silicio, *Micro-Machining*, sensori intelligenti, *Remote sensing*

##### Sensoristica per la qualità della vita:

- Biosensori, sensori chimici, sensori di rumore acustico

##### Sensoristica per l'industria ed i controlli:

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

## F4850- N4850      Sistemi di commutazione

Anno: Periodo 5:1    Lezione: 8 (ore settimanali)

Docente: Guido Albertengo

Lo scopo del corso è fornire agli allievi le metodologie di base per l'analisi dei sistemi di commutazione sia analogici sia numerici. Partendo dai sistemi di commutazione analogici per uso telefonico si esaminano successivamente i sistemi di commutazione numerici, per giungere infine ai sistemi di commutazione di pacchetto veloce (ATM).

### PROGRAMMA

- Introduzione alla telefonia analogica. La funzione di commutazione. Commutatori manuali ed automatici. Commutatori elettromeccanici ed elettronici. L'autocommutatore e le sue funzioni: struttura di autocommutatori elettromeccanici, a programma memorizzato, e completamente numerici.
- La rete di commutazione. Reti mono- e multi-stadio. Probabilità di blocco. Metodo di Lee. Reti strettamente e non strettamente non-bloccanti: teoremi di Clos e di Slepian-Daguid. Reti di concentrazione e reti di copia.
- La rete a larga banda integrata nei servizi (B-ISDN). Possibili tecniche realizzative della rete B-ISDN. L'interfaccia utente della rete B-ISDN.
- La commutazione di pacchetto. Commutatori veloci di pacchetto. Architetture di commutatori veloci di pacchetto ed analisi delle loro prestazioni. La tecnica ATM. Le funzionalità di un commutatore veloce di pacchetto per ATM. Uso di commutatori ATM per reti B-ISDN. Servizi e protocolli della rete ATM. Il livello ATM Adaptation Layer (AAL).
- Richiamo delle principali reti di calcolatori metropolitane (MAN) e locali (LAN). L'interconnessione di reti LAN/MAN. Uso della rete B-ISDN per interconnessione di LAN/MAN. Uso di reti private ATM per interconnessione LAN/MAN.

### BIBLIOGRAFIA

J.H.Hui, "*Switching and Traffic Theory for Integrated Broadband Networks*", Kluwer Academic Publisher

J.R.Boucher, "*Voice Teletraffic System Engineering*", Artech House

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Marco Mezzalama

Il corso si propone di fornire agli allievi la conoscenza approfondita delle architetture, degli algoritmi, delle metodologie e dell'uso delle tecnologie moderne per la progettazione e la valutazione di sistemi di elaborazione di media complessità. Particolare enfasi viene data alla struttura dei personal computer come architettura di riferimento. Sono analizzate le principali famiglie di microprocessori, i relativi *bus* e la gestione dei principali dispositivi periferici dal punto di vista sia *hardware* sia *software* di base.

#### REQUISITI

*Calcolatori elettronici, Sistemi Operativi.*

#### PROGRAMMA

*Architetture dei sistemi a microprocessore:*

- Struttura e organizzazione di sistemi basati su dispositivi a 16 e 32 bit (8086, 800286, 80386, 80486, Pentium, famiglia 68000). Progetto di memorie: DRAM; *cache*; tecniche di rilevamento e correzione di errori. Metodologie di gestione dei periferici (polling, interrupt; DMA etc.). Progetto di interfacce: I/O *standard*; *video controller*; *disk controller*. Coprocessori matematici e unità aritmetiche:

*La struttura dei personal computer:*

- Organizzazione *hardware*.
- Driver del BIOS.
- Organizzazione interna dei sistemi operativi MS-DOS e Windows.
- I *bus* di sistema: VESA, PCI, EISA

*Architetture multiprocessore:*

- Le diverse tipologie di interconnessione tra processori. Realizzazione di strutture a *bus* comune. Integrazione tra sistema operativo e struttura *hardware*. Il problema dell'arbitraggio. La gestione della memoria; *multitasking*

*L'evoluzione dei microprocessori:*

- Architetture CISC evolute (Pentium P6).
- Architetture RISC (Dec Alpha - IBM PowerPC)

*Multimedialità:*

- Struttura e dispositivi a supporto della multimedialità. Le diverse tecniche di codifica audio e video

#### ESERCITAZIONI

Sono previsti interventi di tecnici esterni per approfondire speciali tematiche specie di carattere applicativo ed industriale.

**LABORATORIO**

Non sono previste esercitazioni in laboratorio pianificate. Tuttavia, poiché è richiesto lo sviluppo di semplici tesine, applicative gli studenti potranno accedere ai laboratori specialistici del Dip. per lo sviluppo delle stesse.

**BIBLIOGRAFIA**

Dispense e documentazione del corso.

**Testi ausiliari**

H.P. Messmer: "*The indispensable PC Hardware Book*", Addison Wesley

J.H. Crawford, P.P. Gelsinger, "*Programming the 80386*", Sybex, 1987

Tannebaum, "*Structured computer organization*", Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990

M. Mezzalama, N. Montefusco, P. Prinetto, "*Aritmetica dei calcolatori e codifica dell'informazione*", UTET, Torino, 1989

Manuali tecnici INTEL

**ESAME**

Prova scritta ed orale. È richiesto lo sviluppo di una tesina.

**N4882****Sistemi di elaborazione II**

Anno: Periodo 5:2 Lezione, Esercitazione:6+2 (ore settimanali)

Docente: Angelo Raffaele Meo

Nel corso si presenteranno informazioni approfondite sulle architetture e tecnologie più avanzate per l'elaborazione dell'informazione. In particolare, si discuteranno i sistemi operativi più recenti (WINDOWS 95, WINDOWS NT) e si svolgeranno esercitazioni di laboratorio finalizzate all'insegnamento delle tecniche di programmazione in quegli ambienti.

Le architetture e le tecnologie per la multimedialità, la crittografia, le reti neurali, gli algoritmi genetici completeranno il corso.

**PROGRAMMA***Architettura dei Sistemi di Elaborazione di tipo Parallelo:*

- Classificazione dei sistemi paralleli [4 ore]
- I Supercalcolatori Vettoriali [4 ore]
- L'architettura dei supercalcolatori CRAY [4 ore]
- Gli elaboratori a Parallelismo Massiccio [6 ore]
- La Programmazione degli Elaboratori Paralleli [8 ore]
- I microcircuiti caldi: Pentium, P6, Alfa, Power PC, Sparc [10 ore]

*Sistemi operativi:*

- Il Sistema Operativo e l'Ambiente Windows [6 ore]
- I Sistemi Operativi Windows NT, Windows 95, UNIX, OS2 [20 ore]

*Architetture per la Multimedialità:*

- PC Multimediali[6 ore]
- Le Tecniche della Crittografia [4 ore]
- Reti Neurali [2 ore]

*Le Tecnologie della Multimedialità:*

- La Compressione delle Immagini Statiche[4 ore]
- La compressione delle Immagini in Movimento e le altre Tecnologie del Video on Demand [20 ore]
- L'Interfaccia MIDI per la Computer Music [10 ore]

**LABORATORIO**

Sono previste esercitazioni sperimentali in laboratorio su rete di Personal Computer relative alla programmazione in ambiente WINDOWS.

**BIBLIOGRAFIA**

Il docente distribuirà la documentazione relativa ai singoli argomenti.

**ESAME**

L'esame si compone di 2 parti:

1. Esame scritto: consiste nella scrittura di un programma in ambiente WINDOWS.

## 2. Esame orale.

Il superamento dell'esame scritto è condizione necessaria per l'ammissione all'esame orale

Sono previsti seminari volontari a cura degli studenti

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Ermanno Nano

Il corso, di carattere applicativo, ha la finalità di trattare i sistemi di radiodiffusione sonora e televisiva. La prima parte, è relativa ai sistemi di trasmissione e relativi ricevitori, nonché alla distribuzione dei segnali via cavo. Seguono nozioni sulle misure delle caratteristiche dei ricevitori e relative norme. La seconda parte riguarda la protezione della radiodiffusione e le prove di omologazione dei ricevitori secondo la Direttiva CEE di compatibilità elettromagnetica. Le lezioni sono completate da esercitazioni di calcolo in aula.

### REQUISITI

*Comunicazioni elettriche (TLC), Elettronica applicata (TLC)*

Si consiglia di aver seguito il corso di *Misure Elettroniche*.

### PROGRAMMA

#### *Radiodiffusione sonora*

- Sistema MA (a modulazione di ampiezza). Sistema MF (a modulazione di frequenza, mono e stereo). Canalizzazione (MA e MF)

#### *Antenne riceventi*

- A stilo (MA e MF), a ferrite (MA), a dipolo ripiegato e YAGI (VHF/UHF), a parabola (SHF)

#### *Caratteristiche dei ricevitori*

- Definizioni. Antenne fittizie. Metodi di misura. Norme IEC

#### *Ricevitori radiofonici*

- Schema a blocchi. Circuito d'entrata. Conversione e frequenza immagine. Amplificazione a frequenza intermedia. Demodulazione. Decodifica stereo

#### *Radiodiffusione televisiva*

- Terrestre (sistemi NTSC, PAL, SECAM). Diretta da satellite (DBS). Canalizzazione televisiva (VHF, UHF, SHF)

#### *Ricevitori televisivi*

- Schema a blocchi. Deflessione magnetica. Sincronizzazione. Generazione dell'alta tensione per il cinescopio. Decodifica (sistemi NTSC, PAL, SECAM). Segnali di prova inseriti nel ritorno di quadro. Sintonia a sintesi di frequenza

#### *Radiodiffusione dati*

- Sistema RDS (per MF/VHF). Sistema TELEVIDEO (per TV)

#### *Distribuzione di segnali via cavo*

- Impianti d'antenna centralizzati. Sistemi CATV. Canalizzazione (VHF/UHF, CATV)

#### *Protezione delle radiocomunicazioni*

- Radiodisturbi naturali ed artificiali. Caratteristiche spettrali. Effetti sui ricevitori

#### *Compatibilità elettromagnetica (emc)*

- Norme internazionali (CISPR) ed europee (CENELEC). Norme CEI e decreti italiani. Direttiva CEE di EMC. Misura dei radiodisturbi: tensioni, campi, potenze. Misuratore CISPR. Analizzatore di spettro. Misure di emissione e di immunità. Prove di EMC per l'omologazione dei ricevitori

## ESERCITAZIONI

(cfr. il programma)

Esercitazioni di calcolo (esempi):

- Attenuatori ed adattatori d'impedenza resistivi. Attenuazione della frequenza immagine. Deviazione di frequenza di modulatori MF. Distorsione di demodulatori MF. Deflessione magnetica di cinescopi. Modelli di filtri ceramici. Distorsione di inviluppo per dissintonia. Risposta di un rivelatore di quasi-picco. Disturbo prodotto da un raddrizzatore. Taratura di un misuratore con impulsi. Sensibilità di un misuratore. Funzionamento a banda stretta e larga di un misuratore

## LABORATORIO

(cfr. il programma)

Dimostrazioni e rilievi (attuabili se compatibili con il allievi)

- Misure su ricevitori. Spettri di segnali di prova. Misure di radiodisturbi con analizzatore di spettro

## BIBLIOGRAFIA

E. Nano, "Dispense di radiotecnica", (in corso di aggiornamento)

E. Nano, "Compatibilità elettromagnetica", Boringhieri, 1979 (in corso di aggiornamento)

### Testi ausiliari

Consigliati durante il corso.

## ESAME

Orale.

## F4902-L4902                      Sistemi di radiocomunicazione II

Anno: Periodo 5:2    Lezione: Esercitazioni: 4+2 (ore settimanali)

Docente: Ezio Biglieri

L'insegnamento è interamente dedicato ai sistemi di telefonia cellulare radio-mobile, e in particolare al sistema cellulare pan-europeo GSM. Ne vengono esaminati le basi teoriche, i criteri di progetto, la struttura di sistema e le prestazioni.

### REQUISITI

*Comunicazioni Elettriche Specialistico (ELN) o Comunicazioni Elettriche (TLC)*

### PROGRAMMA

- Introduzione al corso. I sistemi radio-mobili.
- La struttura cellulare. Configurazione delle celle (macrocelle, microcelle, picocelle) e considerazioni di traffico. Il concetto di *hand-over*.
- Tecniche di accesso alla rete. Accesso multiplo a divisione di tempo, di frequenza,
- Problemi di interferenza.
- Il canale radio. Modelli di *fading*. *Shadowing*. Effetti sulle prestazioni degli schemi di modulazione.
- Tecniche di ricezione con diversità: combinazione a selezione e a rapporto massimale.
- Metodi di modulazione:  $\pi/4$ -DQPSK e GMSK.
- Metodi di codifica del segnale vocale.
- Codifica a controllo di errore.
- Lo *standard* GSM.
- Altri *standard* di telefonia cellulare radio-mobile.
- Radio-mobile satellitare: il sistema Iridium e il sistema Globalstar.

### ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono in calcoli svolti sugli argomenti presentati durante le lezioni.

### BIBLIOGRAFIA

I testi verranno indicati all'inizio del corso.

### ESAME

L'esame può essere sostenuto secondo due modalità distinte: esame tradizionale ed esame con esoneri:

Il primo consiste in una prova scritta che verte sull'intera materia del corso.

Il secondo consiste nel superamento di due prove di esonero svolte durante il corso.

A chi abbia sostenuto entrambe le prove di esonero viene proposto un voto finale.

Le prove scritte (esoneri ed esami) consistono in alcuni esercizi di calcolo.

Durante le prove scritte è possibile consultare testi ed appunti.

**F4920-L4920****Sistemi di telecomunicazione**

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio (solo per studenti TLC):  
5+1+4 (ore settimanali)

Docente: Mario Pent (Collab.: Marina Mondin)

Il corso si propone di affrontare, mediante lo sviluppo di argomenti particolari, i problemi di "sistemistica" nelle telecomunicazioni, con particolare riguardo alla utilizzazione da parte di una molteplicità di soggetti di risorse comuni condivise.

I principali argomenti sviluppati sono:

- radar, con particolare attenzione agli impieghi civili di tale strumento (controllo del traffico aereo, meteorologia)
- ponti radio, specificatamente ponti radio numerici inseriti nella rete di telecomunicazioni pubblica
- satelliti per telecomunicazioni

Inoltre si accenna ai seguenti argomenti collaterali:

- radioaiuti alla navigazione e localizzazione (GPS)
- comunicazioni mobili personali (GSM)
- radio e telediffusione numerica

**REQUISITI**

*Reti di telecomunicazione I oppure Trasmissione numerica oppure Elaborazione numerica dei segnali; Comunicazioni Elettriche*

**PROGRAMMA**

*Radar:*

- Principi di funzionamento, equazione fondamentale del radar, portata, risoluzione in distanza e risoluzione angolare, relazione fra le varie grandezze. Falso allarme e mancato rilevamento. Elaborazione di risposte multiple; integrazione di impulsi; tecniche a finestra. Segnali "sostanziosi" per radar; funzione di ambiguità di Woodward; radar "chirp"; radar impieganti sequenze di Barker e sequenze PN. Antenne per radar; sorveglianza; inseguimento; tecnica *Monopulse*. Applicazioni del radar nella meteorologia

*Radar Secondario:*

- Principio di funzionamento; interrogazione e risposta; formati. *Round Reliability*; funzione SLS. Fenomeno del "garble"; cause ed effetti sul rilevamento angolare. Fenomeno del "fruit"; cause; tecniche di riduzione; *defruiter*. Integrazione di radar primario e secondario; servizio di controllo del traffico aereo. Prospettive di evoluzione

*Radioaiuti alla navigazione:*

- Navigazione iperbolica (LORAN). Navigazione ro-teta: VOR e DME; loro integrazione nel controllo del traffico aereo; definizione di aerovie. Assistenza all'atterraggio: sistema ILS; sistemi evoluti

*Ponti Radio terrestri:*

- Organizzazione generale di un ponte radio e sua collocazione in una rete pubblica di telecomunicazioni. Gerarchia PCM; strutture di trama. Ripetitori rigenerativi e trasparenti; ripetitori con amplificatori non lineari. Fenomeni di propagazione: assorbimento, diffrazione, cammini multipli; I Ellissoide di Fresnel; nozione di Franco. Evanescenti; caratteristiche statistiche; concetto di disponibilità; contromisure (diversità). Fading selettivo: effetti sulla trasmissione; contromisure: equalizzazione adattativa; diagramma di firma. Fenomeni di interferenza; requisiti delle antenne (front-to-back ratio). Calcoli di tratta

*Comunicazioni mobili personali:*

- Ripartizione del territorio in celle; copertura cellulare; riuso delle frequenze. Tecniche di modulazione numerica; riduzione di ridondanza del segnale vocale. Comunicazioni con mezzi mobili; *handover*; evanescenti

*Satelliti per telecomunicazioni:*

- L'ambiente spaziale: orbite, orbita geostazionaria, orbite LEO; messa in orbita di un satellite, motore di apogeo; caratteristiche (inclinazione, eccentricità, eclisse); controllo di posizione; controllo di assetto; produzione di energia a bordo; telemetria e telecomando; organizzazione generale di un satellite. Ripetitori di bordo di tipo trasparente; amplificatori non lineari; intermodulazione fra portanti. Antenne di bordo: copertura globale, copertura "*spot*", fasci multipli, riuso delle frequenze. Tecniche di accesso multiplo: a divisione di frequenza (FDMA), a divisione di tempo (TDMA), a divisione di (CDMA); confronti fra le varie tecniche. Problemi di propagazione a frequenze superiori a 10 GHz; influenza delle condizioni meteo; contromisure; scelta ottimale degli schemi di accesso multiplo. Ripetitori di bordo di tipo rigenerativo; vantaggi e svantaggi; elaborazione di segnali a bordo del satellite; commutazione a bordo. Satelliti per diffusione diretta. Antenne di terra: eventuali tecniche di inseguimento della posizione del satellite. Sistemi di telecomunicazioni via satellite: globali, continentali, regionali, nazionali; confronti con alternative terrestri (fibre ottiche) per le comunicazioni a lunga distanza

*Tecniche numeriche di radio e tele diffusione:*

- Problemi specifici del canale di comunicazione; riflessioni, evanescenti, effetto Doppler. Modulazioni multiportante (OFDM)

## ESERCITAZIONI

1. Calcolo di prestazioni di un radar elementare
2. Calcolo di prestazioni di un radar con elaborazione di risposte multiple
3. Tecniche di compressione di impulsi (*chirp*)
4. Calcolo di prestazioni di un radar secondario
5. Dimensionamento di una tratta in ponte radio
6. Scelta di siti per un collegamento in P.R.
7. Dimensionamento di un collegamento via satellite
8. Prestazioni di sistemi di accesso multiplo

## LABORATORIO

Studio mediante simulazione e valutazione delle prestazioni dei seguenti schemi trasmissivi:

1. schema di trasmissione con modulazione 4-PSK e 16 QAM; filtro di trasmissione a radice di coseno rialzato con *roll-off* 0.5; filtro di ricezione a radice di coseno rialzato con *roll-off* 0.5; ricevitore ottimo
2. Sistema di trasmissione con modulazione 4-PSK e 16 QAM, filtro di trasmissione e ricezione a coseno rialzato con *roll-off* variabile e con coefficiente di ripartizione variabile
3. Sistema di trasmissione con modulazione 4-PSK e 16 QAM, filtro di trasmissione e ricezione a radice di coseno rialzato, TWT (travelling wave tube) con *back-off* variabile e filtro di ricezione a radice di coseno rialzato

Per le simulazioni verrà utilizzato il *package* di simulazione TOPSIM IV

#### PROGRAMMA DELLE VISITE TECNICHE

Visita a installazioni aeroportuali (radar, radioassistenze). Visita a torre radio (Ponti radio, stazione base GSM). Visita a stazione terrestre per TLC via satellite

#### BIBLIOGRAFIA

Appunti e note tecniche distribuite dal docente.

#### ESAME

- L'esame completo comprende una prova scritta e una prova orale
- Per studenti ELN:
  - Durante l'anno saranno svolti due accertamenti scritti sostitutivi dell'esame finale
  - Allo studente che supera entrambi gli accertamenti sarà proposto un voto finale; se accettato, lo studente non è tenuto all'esame finale se non accettato, lo studente potrà sostenere un colloquio integrativo in sede di esame finale
  - Lo studente che supera uno solo degli accertamenti scritti è esonerato dalla prova scritta dell'esame finale, che si limita alla prova orale
  - Nel caso di mancato superamento di entrambi gli accertamenti, lo studente è tenuto a sostenere l'esame completo
- Per studenti TLC:
  - Al termine delle esercitazioni di laboratorio lo studente è tenuto a presentare una relazione scritta che sarà oggetto di valutazione di merito
  - In presenza della relazione scritta, lo studente è esonerato dalla prova scritta finale, che si limita alla sola prova orale

**L5011****Sistemi informativi I (ELN)**

Anno: Periodo 3:2 Lezione, Esercitazione: 6+2 Laboratorio: 4 (non obbligatorio)

Docenti: (I corso) Aldo Laurentini  
(II corso) Paolo Montuschi

Il corso ha come scopi:

- Approfondire lo studio delle metodologie di programmazione, delle strutture dati e degli algoritmi fondamentali;
- Illustrare alcuni aspetti architetturali dei sistemi di elaborazione, quali le strutture interne, il linguaggio di programmazione *assembler*, le modalità di interconnessione.

Il Corso comprende lezioni, esercitazioni ed attività di laboratorio su *personal computer* e minielaboratori.

**REQUISITI**

*Fondamenti di informatica*

**PROGRAMMA**

- Analisi della complessità degli algoritmi: teoria, esercizi, realizzazioni in C [5 ore]
- Algoritmi di ordinamento: teoria, esercizi, realizzazioni in C [8 ore]
- Tipi di dati astratti (Pile, code, liste) e loro implementazione: teoria, esercizi, realizzazioni in C [6 ore]
- Alberi, alberi binari, visite, algoritmi di ricerca, inserimento e cancellazione: teoria, esercizi, realizzazioni in C [7 ore]
- *Hash*, code di priorità: teoria, esercizi, realizzazioni in C [5 ore]
- Grafi (definizioni, usi, visite ampiezza, profondità *minimum spanning tree* e cammini minimi, isomorfismo, planarità *clique* colorazione, dominanza, indipendenza): teoria, esercizi, realizzazioni in C [8 ore]
- Architettura dell'elaboratore; architettura dei microprocessori 8086 e 80386; architetture di sistemi multiprocessore e algoritmi paralleli [8 ore]
- Il linguaggio *assembler* 8086: teoria, esercizi, esercitazioni pratiche di laboratorio [30 ore]
- Reti di calcolatori [8 ore]
- Programmazione avanzata nel linguaggio C (puntatori, file, strutture dati complesse, ricorsione): teoria ed esercizi [20 ore]

**LABORATORIO**

Esercitazioni su elaboratori del tipo *Personal Computer* o elaboratori della classe *VAX*. Per le esercitazioni di laboratorio gli studenti saranno suddivisi in squadre.

**BIBLIOGRAFIA**

- Teoria:

Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, "Introduction to algorithms", McGraw Hill

P. Prinetto, M. Sonza Reorda, "Algoritmi e strutture dati", Levrotto&Bella, Torino

– Programmazione:

B.W. Kernighan, D.M. Ritchie, "The C Programming Language", Prentice Hall

P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza Reorda, "Il linguaggio di Programmazione Assembler 8086", Levrotto&Bella, Torino

### Testi ausiliari

Sara Baase, "Computer algorithms: introduction to design and analysis", Addison Wesley

Scanlon, "IBM PC & XT Assembly Language", Prentice Hall

Yu- Cheng Liu, Glenn A. Gibson, "Microcomputer systems, the 8086 - 8088 family: architecture, programming, and design", Prentice Hall

A.M. Tenenbaum, Y. Langsam, M.J. Augenstein, "Data structures using", Prentice Hall

P. Prinetto, M. Sonza Reorda, "Esempi di programmazione in linguaggio C", Levrotto&Bella, Torino

### ESAME

L'esame consiste nelle seguenti prove:

- Prova scritta di teoria
- Prova scritta di programmazione (Assembler e C)
- Prova orale

Per poter sostenere l'esame è indispensabile la prenotazione e la consegna dello statino presso la Segreteria del Settore dell'Informazione. Tutte le prove devono essere sostenute nel medesimo appello. Sono precondizioni per essere ammessi alla prova orale: l'aver ottenuto la sufficienza nella prova scritta di teoria, l'aver realizzato il programma funzionante ( su dischetto da 3" ½ per verifica su PC) relativo al proprio elaborato sviluppato in occasione della prova scritta di programmazione, l'essere in possesso della raccolta delle proprie relazioni relative alle esercitazioni teoriche e pratiche proposte durante il corso. Le prove scritte contribuiscono paritariamente alla formazione del voto finale dello scritto.

La prova orale e la valutazione delle relazioni sulle esercitazioni possono alterare verso l'alto o verso il basso detto voto, dando un risultato compreso tra 15/30 e 30 e lode.

Le regole che esprimono nel dettaglio le modalità di esame, le scadenze, l'eventuale esistenza di appelli di esonero e la loro validità, sono affisse nelle bacheche del Settore dell'Informazione e sono disponibili in copia presso la Segreteria del Settore dell'Informazione (piano terreno, di fronte all'aula 12).

## **Sistemi informativi I (TLC)**

Vedi: Fondamenti di informatica II

**F5012-L5012****Sistemi informativi II**

Anno: Periodo 3:2 per F5012 ; 5:2 per L5012 Lezione, Esercitazione, Laboratorio:  
6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Angelo Serra

Il corso si propone di fornire agli allievi la conoscenza di base dell'architettura dei sistemi di elaborazione e dell'organizzazione del *software*, con particolare riferimento ai sistemi operativi e all'analisi e progettazione di sistemi *software*, utilizzando metodologie orientate agli oggetti e la loro programmazione in linguaggio C++.

Nelle esercitazioni di laboratorio, sarà privilegiato l'utilizzo del sistema operativo UNIX per la programmazione di applicazioni sequenziali e concorrenti nei linguaggi C e C++; è prevista inoltre la programmazione in linguaggio assembler dei microprocessori per l'elaborazione dei segnali (DSP) e per PC (80x86).

**PROGRAMMA***A - Architettura dei sistemi di elaborazione.*

Concetti generali sull'architettura dei processori della serie Intel 80X86 e cenni sul linguaggio assembler relativo MASM86. Gestione dei periferici: interruzioni e DMA. Architettura di un microcalcolatore DSP a virgola fissa, l'ADSP 2101 e linguaggio assembler relativo. Programmazione di funzioni modulari utilizzate nell'elaborazione dei segnali e nelle trasmissioni dati.

*B - Sistemi operativi.*

Cenno sulla struttura interna del sistema operativo. Processi: processi sequenziali, concorrenti, primitive di sincronizzazione e di gestione dei processi. Modelli a memoria comune e a scambio di messaggi. Schedulazione dei processi. Nucleo di un sistema operativo. Gestione della memoria.

Sistema UNIX: comandi, strumenti per lo sviluppo del *software*. Chiamate di sistema. Creazione e terminazione dei processi. Comunicazione e sincronizzazione: in particolare semafori, *shared memory*, *message queues*, *socket*. Sistemi distribuiti, in particolare *client-server* su Internet.

*C.- Lo sviluppo del software secondo l'approccio ad oggetti (OMT e C++)*

*Object oriented analysis, object oriented design*: OMT, *object model*, classi, associazioni, cardinalità, *aggregation, generalization*. OMT, *dynamic model, event flow, event trace, state diagrams*

Linguaggio C++: estensioni al C, *reference, const, new, delete*; classi, *data/function members, private/public, constructor, copy constructor, operator overloading, inheritance*, per estensione e per *overload, dynamic binding*.

**ESERCITAZIONI IN AULA E DI LABORATORIO**

unix1: editare compilare e linkare programma C (es.: bubblesort)

unix2: generare n processi con fork, sincronizzarli con `signal[]`; es di uso di pipe

unix3: risolvere il problema produttore/consumatore e lettore/scrittore con semafori e *shared memory* o code di messaggi.

unix4: risolvere un problema client server con *message queues* o *sockets*.

unix5: esempi applicativi client server in Internet.

oo1: dato .h di class string e parte di .cpp, finire .cpp; fare prog di prova

oo2: dato .h di class listLinear, finire .cpp; fare prog di prova

oo3: data listLinear di oo2, date listCircolar e listBiLinkata, riorganizzarle con inheritance

oo4: analisi e progetto del problema del Bancomat in OMT; codifica in C++

arch1: semplici esercizi in MASM86 utilizzando i vari tipi di indirizzamento

arch2: uso del codeview; routine richiamabili da linguaggio C; esercizi di aritmetica in precisione multipla

dsp1: uso del simulatore per ADSP 2101; verifica di programmi per filtri FIR e IIR

dsp2: schema a blocchi di un trasmettitore e di un ricevitore di un modem QAM; realizzazione e prova di alcune routine

## BIBLIOGRAFIA

A1. Prinetto P., Rebaudengo M., Sonza Reorda M., "Assembler 8086/8088", Levrotto & Bella, Torino 1995.

A2. Ingle V.K., Proakis J.G., "Digital Signal Processing Laboratory Using the ADSP 2101 microcomputer", Prentice Hall, 1991.

B1. Ancillotti P., Boari M., Ciampolini A., "Sistemi Operativi", Pitagora Editrice, 1994.

B2. Havilland K., Salama B., "Unix System Programming", Addison Wesley, 1987.

B3. AAVV., "Guida alla programmazione concorrente in Unix", pubblicazione interna.

C1. Rumbaugh J., "Object Modelling Technique", Addison Wesley, 1991.

C2. Lippman S., "C++: corso di programmazione", Addison Wesley, 1993.

Lucidi del corso, esempi, esercitazioni sono disponibili all'URL [www.polito.it/~Ulis-se/L5012](http://www.polito.it/~Ulis-se/L5012)

## ESAME

L'esame può essere superato nei modi seguenti.

- prova in aula + orale: Votazione massima: 30 lode.

- tesina + orale: Votazione massima: 30 lode.

- orale: Votazione massima: 24.

- sistema a crediti (solo per studenti frequentanti nel corrente anno accademico):

ESONERO\_B + ESONERO\_C + ORALE\_A Votazione massima: 30 lode.

**N5030****Sistemi operativi**

Anno: Periodo 4:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio:6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Pietro Laface (Collab.: Mario Baldi)

Il corso si propone di introdurre alle problematiche dei Sistemi Operativi, cioè alla gestione concorrente da parte di più utenti delle risorse limitate di un sistema di elaborazione (processori, memorie, periferici, ecc.). In particolare, intende:

- Sviluppare i principi ed i metodi della programmazione concorrente
- Analizzare la struttura dei moduli componenti un sistema operativo
- Offrire strumenti per valutare le caratteristiche dei Sistemi operativi rispetto alle prestazioni richieste

Il corso comprende lezioni, esercitazioni, laboratorio (su Personal Computer e Workstation).

**REQUISITI**

*Calcolatori elettronici, Fondamenti di Informatica, Fondamenti di Informatica II*

**PROGRAMMA**

- Sistema operativo come interfaccia utente, come gestore di risorse e come macchina gerarchica
- Definizione e struttura dei processi sequenziali e dei processi concorrenti
- Primitive di sincronizzazione e costrutti linguistici per la gestione della concorrenza
- Gestione dei processori e dei processi
- Gestione della memoria: segmentazione, paginazione e *swapping*
- Schedulazione dei *jobs*. Analisi mediante modelli deterministici, stocastici e analisi operativa
- Gestione delle unità periferiche: gestione terminali gestione delle richieste su disco
- Gestione degli archivi
- Protezione delle risorse e delle informazioni
- Sistemi operativi di rete

**ESERCITAZIONI**

Casi di Studio: UNIX e MINIX

1. Esempi di programmazione concorrente con primitive semaforiche e costrutti linguistici con maggiore potenza espressiva
2. Esempi di utilizzo delle system call fornite da UNIX
3. Analisi dettagliata del sistema operativo MINIX

**LABORATORIO**

1. Shell UNIX
2. Esempi di utilizzo delle system call MINIX
3. Tesine di progetto di processi di sistema o di moduli da inserire nel kernel di MINIX

## BIBLIOGRAFIA

Silbershatz A., P. Galvin, "*Sistemi Operativi*", Quarta Edizione, Addison Wesley Publishing Company, 1995

**Testi ausiliari**

Appunti del Corso di Sistemi Operativi

Stalling W., "*Operating Systems*", Maxwell Mac Millan International Editions, 1992

Tanenbaum A., "*Operating Systems, Design and Implementation*", Prentice Hall International, 1987

## ESAME

L'esame è orale e verte sui contenuti svolti nelle lezioni e nelle esercitazioni riguardanti la programmazione concorrente ed il sistema operativo UNIX.

È possibile superare l'esame senza svolgere la tesina o sostenere il colloquio relativo alle esercitazioni riguardanti il sistema operativo MINIX, ottenendo una votazione non superiore a 24 trentesimi.

**N5050****Sistemi per la progettazione automatica**

Anno: Periodo 5:1 Lezione, Laboratorio(non assistito): 8+4 (ore settimanali)

Docente: Paolo Prinetto (Collab.: Fulvio Corno)

Il corso esamina i problemi che occorre affrontare per tendere verso gli “*Zero-defect VLSI*”, vale a dire verso sistemi digitali con il minor numero possibile di difetti. Verranno pertanto affrontate le tematiche relative allo “*zero-defect design*” (con particolare riferimento alle tecniche di simulazione, di verifica formale della correttezza del progetto e della sintesi automatica) ed allo “*zero-escape testing*” (con particolare riferimento al collaudo nelle varie fasi della vita di un sistema ed alla progettazione orientata al collaudo).

**REQUISITI***Reti logiche***PROGRAMMA**

Complementi sul linguaggio VHDL [2 ore]

– Stili di descrizione orientati alla sintesi automatica

Formalismi di descrizione [8 ore]

– Sistemi formali: sintassi, semantica

– La logica delle proposizioni e la logica dei predicati

– Formalismi algebrici (Z)

– Logiche temporali

– Formalismi operazionali: StateCharts, Petri Nets, Process algebras

Progettazione a livello di sistema [8 ore]

– Metodologia di progetto *Top-down*

– Strumenti automatici (i-Logix, speedCHART)

Sintesi automatica [8 ore]

– Classificazione

– Algoritmi

– Strumenti automatici (Synopsys, ViewLogic, SIS)

Il collaudo di sistemi digitali [20 ore]

– Modelli di guasto

– Generazione delle sequenze di collaudo

– Il collaudo dei microprocessori

– Il collaudo delle memorie

– Apparecchiature di collaudo

– *Design for testability*– *Built-in Self Test*– *Boundary Scan*

– Strumenti automatici (SUNRISE)

## Algoritmi CAD [8 ore]

- Algoritmi di simulazione digitale
- Algoritmi per la Fault simulation
- Algoritmi per la generazione delle sequenze di collaudo

## Verifica formale [8 ore]

- Diagrammi di decisione binari (BDD)
- Dimostratori di teoremi
- Tecniche simboliche di attraversamento
- *Model Checking* simbolico

## Sistemi CAE nell'ambiente produttivo [6 ore]

- *Time to market*
- *Concurrent engineering*
- Qualità ed ISO-9000

## Esperienze industriali [10 ore]

- Presentazioni in aula
- Visite a stabilimenti

## LABORATORIO

Sono previste esercitazioni pratiche relative all'utilizzo degli strumenti analizzati nel corso delle lezioni

## BIBLIOGRAFIA

Durante il corso verrà distribuita copia dei lucidi utilizzati

## ESAME

- 50% prova orale
- 50% lavoro di gruppo (3-4 persone)

Obiettivo del lavoro di gruppo: progettare un sistema complesso, dall'*idea* al *progetto completo*, con *sistemi CAE/ESDA* allo stato dell'arte:

- stesura delle specifiche
- *review meeting*, in aula, per la convalida
- descrizione a livello sistema
- progetto usando un tool di sintesi
- relazione scritta
- presentazione finale

Anno: Periodo 5:1

Docente: Roberto Merletti

### REQUISITI

Nozioni elementari di elettronica analogica e digitale

### PROGRAMMA

*Elementi di Fisiologia* [20 ore]:

- Elettrofisiologia della membrana cellulare, trasporto attivo e passivo, potenziale d'azione. Tessuti eccitabili e trasmissione della informazione lungo fibre nervose e muscolari. Il sistema neuromuscolare, l'unità motoria, il segnale mioelettrico. Tecniche invasive e non invasive di rilevamento del segnale mioelettrico. Elettrofisiologia cardiaca. Significato e interpretazione del segnale elettrocardiografico. Il sistema circolatorio, il cuore come pompa, forme d'onda di pressione, suoni cardiaci. Cenni ai sistemi respiratorio e renale

*Applicazioni biomediche di sensori e trasduttori* [20 ore]:

- Applicazioni biomediche di sensori e trasduttori resistivi, induttivi, capacitivi, piezoelettrici, ottici, ecc. Problemi di linearizzazione e compensazione. Sensori elettrochimici, elettrodi polarizzabili e non, microelettrodi, elettrodi per pH. Elettrodi per applicazione di stimoli e prelievo di segnali sulla cute

*Strumentazione biomedica* [40 ore] :

- Elettrocardiografi e monitors ECG. Condizionamento del segnale, riduzione di interferenze e disturbi. Cardiotacometri. Monitors di aritmie. Elettrocardiografia dinamica. Stimolazione elettrica del cuore e pacemakers. Misure invasive e non invasive di pressione ematica. Cateterismi cardiaci, misure di gittata e portata cardiaca. Flussimetria ematica, flussimetri elettromagnetici e ultrasonici direzionali e non. Defibrillatori cardiaci. Elettromiografi ed elettroencefalografi. Elettrobisturi: criteri di sicurezza. Apparecchiature per analisi ematiche e chimico-cliniche. Contaglobuli. Apparecchiature radiologiche e per tomografia. Tecniche di ricostruzione delle immagini TAC. Cenni alle apparecchiature per ecografia e risonanza magnetica nucleare. Sicurezza degli impianti elettrici nei locali adibiti ad uso medico. Sicurezza e tipologia della strumentazione biomedica

### BIBLIOGRAFIA

"*Medical Instrumentation, application and design*", J. Webster editor, J. Wiley

Docente: Umberto Pisani

Il corso è rivolto agli allievi ingegneri che intendono familiarizzare con i moderni Sistemi di Misura controllati da elaboratori elettronici. Saranno esaminate inoltre le problematiche connesse all'acquisizione dati mediante sistemi su scheda, e su moduli integrati in sistemi automatici di collaudo (ATE). Sono date per scontate le conoscenze dei fondamenti della misurazione, della teoria degli errori, e dei metodi e strumenti di base delle Misure Elettroniche di cui si richiede la priorità.

## PROGRAMMA

### *BUS standard per strumentazione*

- Sistemi automatizzati di misura e problemi di interfacciamento [3 ore].
- L'interfaccia *standard* per strumentazione IEEE-488: generalità, architettura, caratteristiche meccaniche elettriche e funzionali [3 ore].
- Il BUS IEEE-488, gestione del trasferimento dati, comandi di interfaccia e messaggi "*device dependent*" [3 ore].
- Indirizzamenti e richieste di servizio, procedure di "*polling*" [4 ore].
- Le funzioni di interfaccia e analisi di alcune di esse mediante i diagrammi di stato [4 ore].
- Aspetti operativi e standardizzazione dei codici e formati (Std. IEEE 488-2) [3 ore].
- Problemi e tecniche per l'ottimizzazione di un sistema automatizzato di misura [3 ore].
- *Standard* CAMAC per strumentazione e controllo di processi [4 ore].
- Esempio di interfaccia seriale per strumentazione e periferiche HP-IL [3 ore].
- Cenni alla strumentazione su scheda VME e strumentazione VXI [2 ore].

### *Strumentazione moderna per sistemi di misura automatici:*

- oscilloscopi digitali [6 ore]
- analizzatori logici [2 ore]
- analizzatori di reti (cenni) e analizzatori di spettro [2 ore].

### *La misura di grandezze fisiche mediante sensori e trasduttori*

- L'acquisizione di segnali analogici: generalità, problematiche e architetture [2 ore]
- Sensori e trasduttori: caratteristiche essenziali [2 ore]
- Principi di funzionamento dei sensori più diffusi, condizionamento e linearizzazione [2 ore]
- Esempio di linearizzazione di un termistore e progetto di sistema per la misura di temperatura, sorgenti di errore e loro valutazione [4ore]

### *Acquisizione multicanale:*

Aspetti progettuali, *scanner*, filtraggi, circuiti di campionamento e conversione A/D, sorgenti di incertezze, di disturbi e tecniche per la riduzione degli effetti, disposizione delle masse [4 ore].

### *Cenni ai sistemi automatici di collaudo (ATE)*

- Generalità sul collaudo "in circuiti" di schede elettroniche: strategie di misura e collaudo, architettura dei sistemi [4 ore]

## LABORATORIO

Le esercitazioni di laboratorio sono svolte a gruppi di 4 allievi e hanno le caratteristiche di una tesina (compatibilmente col iscritti al corso) con relazione da discutere in sede di esame.

- Il *software* LAB-VIEW: introduzione [2 ore]
- Progetto e realizzazione di uno strumento di misura virtuale basato su *software* LAB VIEW: *tracciatore di caratteristiche di diodi e transistori* [40 ore]
- Sviluppo di programma per la gestione di strumentazione mediante l'interfaccia IEEE-488 [16 ore]

## ESAMI

Consistono in una prova scritta consistente in 5-6 esercizi riguardanti argomenti del corso ed una prova orale che comprende una discussione sulla tesina elaborata in esercitazione

## BIBLIOGRAFIA

M.G. Mylroi, G. Calvert: "*Measurement and Instrumentation for control*", Peter Peregrinus Ltd. (IEE)

S.Pirani: "*Sistemi automatici di misura e acquisizione dati IEEE-488.1*", Esculapio, Bologna 1990

Edelektron ed. : "*Metodi di interfacciamento*"

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

Anno: Periodo 5:2 Lezione: 6 (ore settimanali)

Docente: *da nominare*

L'obbiettivo del corso è quello di permettere a gli studenti dell'ultimo anno di partecipare ad esperimenti avanzati di fisica. Una parte introduttiva di circa venti ore è dedicata alla strumentazione base di un laboratorio moderno.

Ogni esperimento è introdotto da un esame teorico degli aspetti fondamentali della fisica che sono necessari a capire l'esperimento stesso.

**PROGRAMMA**

- 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  $T_C$ . Determinazione della "Irreversibility Line"
- La transizione superconduttiva. R vs. T per materiali ad alta  $T_C$ . Caratteristiche E vs. J a campo nullo e in campo magnetico. Energia di *pinning* del flusso magnetico
- Misure di effetto Josephson in giunzioni planari, a punta di contatto o a rottura in superconduttori a bassa ed Alta  $T_C$  (tra 4.2 e 300 K)
- Spettroscopia tunnel in giunzioni planari, a punta di contatto, o a rottura, aventi elettrodi nello stato normale ed in quello superconduttore (tra 4.2 e 300 K)

**BIBLIOGRAFIA**

Testi generali di Fisica dello stato solido, ad es. Kittel, "Introduzione alla Fisica dello stato solido", Boringhieri

L5404

## Superconduttività

(Corso ridotto)

Anno: periodo 5:2 Lezioni, esercitazioni, laboratori: 60 (ore, nell'intero periodo)

Docente: *da nominare* (Nell'anno accademico 1995/96 l'insegnamento è stato tenuto da Mario Rasetti e le esercitazioni da Renato Gonnelli).

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

Le tre parti del corso – che ha durata complessiva di 55 / 60 ore – hanno peso approssimativamente uguale (di circa 20 ore ciascuna). Le lezioni sono accompagnate da esercitazioni, che consistono essenzialmente nella visita a laboratori di ricerca, in cui gli studenti assistono alla esecuzione di esperimenti, per un totale di circa 8 ore. Sono pre-requisiti 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.

### PROGRAMMA

– *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 condensa-

zione a bassa temperatura). Si richiamano altresì elementi di fisica dello stato solido: il concetto di banda di energia, il teorema di Bloch, le relazioni di dispersione dei fononi. Mediante tutti questi strumenti la teoria BCS viene descritta sia nella versione a temperatura zero (stato fondamentale) sia in quella a temperatura non-nulla, ricavandone tutte le proprietà termodinamiche, di equilibrio e non, interessanti. Per i superconduttori ad alta temperatura critica viene fatto un cenno alle più moderne teorie (modello di Hubbard e sue generalizzazioni) attualmente prese in considerazione.

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

#### ESAME

Verifica orale sui temi trattati a lezione; occasionalmente, tesina scritta su argomento monografico.

L5691

## Tecnologie e materiali per l'elettronica I

Anno: Periodo 5:1 Lezione: 6 (ore settimanali)

Docente: *da nominare*

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]

**ESERCITAZIONI**

Non sono previste esercitazioni di calcolo né di Laboratorio. Di solito vengono effettuate due visite ai Laboratori tecnologici dello CSELT.

**BIBLIOGRAFIA**

Sono disponibili dispense che verranno distribuite durante il Corso.

**Testi ausiliari**

S.M. Sze, "*Dispositivi a semiconduttore*", Biblioteca Scientifica 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.).

**L5692****Tecnologie e materiali per  
l'elettronica II**

Anno: Periodo 5:2 Lezione: 6 (ore settimanali)

Docente: *da nominare*

Le finalità che il corso si propone sono:

- far acquisire allo studente una sufficiente conoscenza degli aspetti chimico-fisici che guidano la scelta dei materiali e delle strutture utilizzabili nei dispositivi.
- permettere un approfondimento sulle proprietà de materiale fornito da alcune caratterizzazioni tra le più significative.
- fornire delle indicazioni sull'uso di alcune tecnologie avanzate come esempio di evoluzione tecnologica del settore.

**REQUISITI**

Per una buona comprensione degli argomenti svolti è utile aver sostenuto gli esami di *Tecnologia e materiali per l'elettronica I e Dispositivi elettronici*.

**PROGRAMMA**

- Materiali e legame chimico: richiami di cristallografia, chimica-fisica dei materiali, tipi di materiali, esempi di materiali.
- Materiali per l'elettronica: panoramica dei materiali, materiali semiconduttori, semiconduttori misti.
- Materiali difettivi: difetti puntiformi, difetti estesi.
- Strutture: strutture quantistiche, strutture strained.
- Caratterizzazioni morfologiche: tecnologie morfologiche.
- Caratterizzazioni composizionali: tecniche microanalitiche, tecniche a fasci ionici e fotonici.
- Caratterizzazioni elettro-ottiche: tecniche elettriche ed elettrochimiche, tecniche di spettroscopia ottica, tecniche di spettroscopia elettronica.
- Caratterizzazioni strutturali: tecniche dffrattometriche, tecniche difettuali.
- Crescite epitassiali: teoria della nucleazione, stabilità delle fasi, tecniche speciali.
- Vetri per fibre ottiche: vetri, tecnologia dei vetri, fibre ottiche speciali.
- Litografie submicrometriche: tecniche litografiche, litografia elettronica (EBL) e applicazioni.

**ESERCITAZIONI**

Sono previste, come parti integranti del corso, la visita ad alcuni laboratori di caratterizzazione materiali e strutture dello CSELT, con elaborazione e discussione di risultati sperimentali da questi forniti.

**BIBLIOGRAFIA**

All'inizio di ciascun tema verranno consegnate agli studenti copie dei lucidi presentate a lezione.

## F5750-L5750 Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica

Anno: Periodo 4:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 4+2/0+2/4(ore settimanali)

Docente: Giovanni Perona

Il corso intende fornire una panoramica esauriente sull'intero processo di acquisizione, elaborazione ed uso dei dati ambientali telerilevati. Verranno considerati dati telerilevati, da satellite o altre piattaforme, mediante strumenti di acquisizione sensibili alla radiazione elettromagnetica ed il loro confronto con dati acquisiti in maniera puntuale da stazioni di rilevamento distribuite sul territorio collegate ad un unico sistema di telecontrollo ambientale. Verranno inoltre descritte le principali metodiche di diagnostica elettromagnetica applicate all'ambiente. Il corso, di carattere interdisciplinare, anche se svolto nell'ambito del Corso di Laurea in Elettronica, potrà essere seguito da studenti di altri Corsi di Laurea in quanto i prerequisiti sono di carattere generale (fisica, analisi matematica ed elementi di informatica).

### REQUISITI

*Fisica I e II*, Corsi di Matematica del biennio, Corsi di informatica del biennio, *Calcolo numerico* (consigliato).

*Campi elettromagnetici I (ELN)*, *Campi elettromagnetici II (TLC)*.

### PROGRAMMA

*I problematiche, metodologie e caratteristiche del telerilevamento*: [6 ore]

- Introduzione al telerilevamento da satellite ed al suolo. Introduzione agli IGIS (*Integrated Geographical Information Systems*), Sistemi Informativi Geografici Integrati per l'uso combinato di dati territoriali di tipo tradizionale e dati telerilevati (da satellite e non)

*Fondamenti teorici*: [26 ore]

- Radiometria. Sistemi ottici. Struttura dell'atmosfera terrestre. *Scattering* ed assorbimento in atmosfera: concetti di assorbimento e di *scattering*; formazione delle linee di assorbimento ed emissione; assorbimento nell'ultravioletto, nel visibile, nell'infrarosso e nelle microonde; *scattering* di Rayleigh; *scattering* di Mie. Teoria del trasferimento radiativo in atmosfera: grandezze fisiche significative; deduzione dell'equazione generale del trasferimento radiativo; Equazione del Trasferimento Radiativo (RTE) in atmosfera a piani paralleli; problemi riguardanti le soluzioni analitiche e numeriche della RTE

*Diagnostica elettromagnetica: (Proprietà degli oggetti e loro firme spettrali)* [10 ore]

- Firme spettrali dall'ultravioletto al vicino e medio infrarosso: acqua, suolo nudo, vegetazione, neve e ghiaccio. Superfici lambertiane e non. *Scattering* da superfici ruvide e firme spettrali a microonde

*Sistemi satellitari, sensori e strumentazione*: [10 ore]

- Orbite satellitari. Sistemi satellitari: LANDSAT, SPOT, MOS, SEASAT, ERS-1, ERS-2, J-ERS1, METEOSAT, TIROS NOAA, NIMBUS, etc.. Sensori e strumenti passivi (radiometri, *scanner* multispettrali, etc.). Sensori e strumenti attivi a micro-

onde (SAR, radar-altimetri, radarmeteorologici etc.). Sensori e strumenti attivi a frequenze ottiche (LIDAR, DOASS, FTIR, etc.)

*Elaborazione, analisi ed interpretazione dei dati telerilevati:* [14 ore]

- Problematiche di georeferenziazione: il *Global Positioning System* (GPS). Preelaborazioni: correzioni geometriche, georeferenziazione e correzioni atmosferiche. Interpretazione e validazione dei dati telerilevati. Tecniche di image processing di immagini digitali. Classificazione tematica (e riconoscimento automatico di particolari strutture) a partire dai dati telerilevati: classificazione assistita (metodo del parallelepipedo, metodo della minima distanza dal valor medio, criterio di massima verosimiglianza) e non assistita (cenni di *cluster analysis*). Analisi delle componenti principali e monitoraggio dei cambiamenti

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni in aula riguarderanno ciascuno degli argomenti presentati nel corso a partire dal punto II.

Vi saranno poi alcune esercitazioni in aula propedeutiche a quelle effettuate sul calcolatore durante le ore di laboratorio.

## LABORATORIO

[4 ore ciascuna 2 squadre]

1. Introduzione agli IGIS (*Integrated Geographic Information System*): dati geografici e loro rappresentazione digitale, strutture raster e vector, presentazione di *software* per IGIS
2. Visualizzazione di mappe *raster* (immagini multispettrali, di radar ad apertura sintetica, di radarmeteorologico) e *vector* (ad esempio dati meteorologici e di inquinamento da centraline)
3. Ricerca per localizzazione e ricerca per attributo su immagini *raster* e *vector*
4. Algebra delle mappe *raster* ed esempi applicativi
5. Analisi di modelli numerici del terreno per applicazioni radarmeteorologiche: calcolo di pendenze ed orientamento, calcolo dei punti in vista da un determinato sito, calcolo dell'angolo di incidenza di fasci radar, determinazione degli spartiacque, simulazione del *ground clutter*
6. Interpretazione di immagini acquisite da scanner multispettrali e da radar ad apertura sintetica
7. Confronto tra diversi indici di vegetazione
8. Classificazione tematica di mappe satellitari: procedure supervised (metodo del parallelepipedo, metodo della minima distanza dal valor medio, criterio di massima verosimiglianza) ed unsupervised (*cluster analysis*)
9. Analisi delle componenti principali e monitoraggio dei cambiamenti

## BIBLIOGRAFIA

C. Elachi, "Introduction to the physics and techniques of remote sensing", John Wiley & Sons, 1987

**Testi ausiliari**

A.P. Cracknell and L.W.B. Hayes, "*Introduction to remote sensing*", Taylor & Francis, 1991

ESAME

Scritto per i primi tre appelli (Febbraio e Marzo) e qualora il numero degli iscritti all'appello sia superiore a 15

**F5760****Teoria dei circuiti**

Anno: Periodo 2:2 Lezione, Esercitazione, Laboratorio (ultime 4 settimane): 4+4+2 (ore settimanali)

Docente: Mario Biey

Il corso si propone di fornire le basi concettuali per la comprensione del comportamento dei circuiti elettrici a parametri concentrati, nonché metodi sistematici per la loro analisi, con cenni alle tecniche usate nell'analisi automatica dei circuiti per mezzo di calcolatore. Il corso è organizzato in lezioni ed esercitazioni che completano, da un punto di vista applicativo, gli argomenti teorici trattati, in modo da facilitarne l'apprendimento. Nella seconda metà del periodo lo studente avrà accesso al Laboratorio di Informatica di Base (LAIB), ove imparerà ad usare un moderno programma di simulazione circuitale (P Spice).

**REQUISITI**

Conoscenza dei contenuti dei corsi di *Analisi Matematica e Fisica*.

**PROGRAMMA**

Generalità: [5 ore]

- Circuiti a parametri concentrati. Direzioni di riferimento. Potenza elettrica entrante in un circuito a due o più terminali. Condizione di passività. Leggi di Kirchhoff. Grafi, anelli e insiemi di taglio, albero e coalbero, grafi planari, maglie. Formulazione delle leggi di Kirchhoff in termini di matrice di incidenza e di matrice delle maglie. Teorema di Tellegen; conservazione della potenza istantanea

Circuiti resistivi: [8 ore]

- Elementi ad una porta: resistori lineari e non lineari; diodi; generatori indipendenti. Collegamento in serie e/o parallelo di bipoli resistivi. Punto di funzionamento e circuito equivalente per piccoli segnali. Elementi a due o più porte: generatori dipendenti, trasformatore ideale, giratore, amplificatore operazionale ideale

Analisi di circuiti resistivi: [6 ore]

- Metodi generali di analisi: metodi dei nodi e delle maglie; metodo dei nodi modificato; metodo della matrice sparsa. Metodo dei nodi semplificato nel caso di circuiti con amplificatori operazionali ideali. Teoremi di sovrapposizione e di sostituzione, di Thevenin e di Norton

Circuiti dinamici: [4 ore]

- Elementi ad una o più porte: condensatori e induttori lineari e non lineari, induttori accoppiati. Collegamento in serie e/o parallelo di condensatori, induttori e induttori accoppiati.

Analisi di circuiti dinamici: [10 ore]

- Risposta con stato zero, con ingresso zero e risposta completa; risposta transitoria e risposta forzata; Risposta all'impulso. Circuiti del primo ordine: analisi a vista nel caso di segnali costanti a tratti. Circuiti dinamici generali: scrittura del sistema di equazioni algebriche-differenziali che descrivono il funzionamento del circuito. Metodo simbolico generalizzato. Funzioni di rete, impedenze, ammettenze e fun-

zioni di trasmissione; zeri e poli. Frequenze naturali e condizioni di stabilità. Equazioni di stato. Grado di una rete e reti degeneri. Legame tra frequenze naturali ed equazioni di stato. Proprietà fondamentali dei circuiti dinamici: estensione dei teoremi di sostituzione, di sovrapposizione, di Thevenin e di Norton

Analisi in regime sinusoidale: [8 ore]

- Il teorema fondamentale del regime sinusoidale. Formulazione delle equazioni circuitali in regime sinusoidale. Diagrammi polari e vettoriali. Curve di risposta in frequenza. Diagrammi di Bode. Normalizzazione. Potenza attiva, reattiva, apparente e complessa; teorema di Boucherot; condizioni di adattamento energetico. Rifasamento di un carico monofase

Sistemi trifase: [2 ore]

- Generatori trifase, collegamenti a stella e a triangolo. Sistemi simmetrici ed equilibrati; metodi per la risoluzione delle reti trifasi. Fattore di potenza e rifasamento

Doppi bipoli e reciprocità: [4 ore]

- Caratterizzazione di doppi bipoli mediante le matrici delle impedenze a vuoto, delle ammettenze di corto circuito, ibride, di trasmissione. Doppi bipoli simmetrici, bilanciati e sbilanciati. Equivalenze di doppi bipoli. Connessioni di doppi bipoli. Funzionamento del doppio bipolo sotto carico. Reciprocità e teorema di reciprocità

Filtri: [6 ore]

- Generalità. Filtro ideale passa basso. Il problema di approssimazione. Approssimazione alla Butterworth; cenni su altri criteri di approssimazione (filtri alla Chebyshev ed ellittici). Progetto di filtri LC mediante manuali. Realizzazione con celle RC-attive connesse in cascata. Trasformazioni di frequenza

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni consistono nella soluzione, da parte degli allievi, di problemi di analisi di circuiti elettrici sfruttando i metodi illustrati a lezione. Il loro elenco è il seguente:

Uso delle leggi di Kirchhoff. Grafi delle reti e teorema di Tellegen. Analisi di circuiti resistivi elementari, parte I. Analisi di circuiti con resistori non lineari. Analisi di circuiti resistivi non lineari II. Analisi di circuiti resistivi non lineari I. Connessioni serie e/o parallelo, analisi di circuiti resistivi elementari. Circuiti resistivi con elementi con 2 o più porte. Circuiti resistivi, metodi generali di analisi I. Circuiti resistivi, metodi generali di analisi II. Uso dei teoremi di Thevenin, Norton, ecc. Connessione di L e C, condizioni iniziali, connessione istantanea di L e C. Circuiti RC e RL del I ordine. Circuiti dinamici generali. Metodo simbolico I. Metodo simbolico II. Equazioni di stato I. Equazioni di stato II. Regime sinusoidale I. Regime sinusoidale II. Funzioni di rete e normalizzazione: equalizzatore RIAA. Sistemi trifase. Doppi bipoli. Filtri: progetto di filtri LC usando un manuale. Filtri: progetto di un filtro RC elementare

## LABORATORIO

Nelle esercitazioni di laboratorio, svolte presso il LAIB, gli studenti impareranno ad usare un moderno programma di simulazione (PSPICE), analizzando il funzionamento di alcuni elementari circuiti elettrici.

## BIBLIOGRAFIA

- L.O. Chua, C.A. Desoer, S. Kuh, "*Linear and non linear circuits*", McGraw Hill, New York, 1987
- L.O. Chua, C.A. Desoer, S. Kuh, "*Circuiti lineari e non lineari*", Jackson, Milano, 1989
- M. Biey, "*Esercitazioni di elettrotecnica*", CLUT, Torino, 1988
- M. Biey, "*Spice e PSpice: introduzione all'uso*", CLUT, Torino, 1993

## ESAME

- L'esame consiste in una prova scritta, seguita da una discussione dell'elaborato consegnato dallo studente e da un'eventuale prova orale
- Tale prova verte su tutto il programma svolto e consiste nel rispondere ad un gruppo di quesiti elementari ed un gruppo di domande di varia difficoltà
- Un giudizio positivo sulle risposte al primo gruppo di domande è condizione necessaria (ma non sufficiente) per superare l'esame
- Verrà valutata anche la presentazione dei risultati e la leggibilità dell'elaborato
- Il voto massimo conseguibile con la prova scritta è 30/30; chi con lo scritto raggiunge i 25/30 può accedere ad una prova orale. Si può chiedere di essere respinti, in modo da poter ripetere l'esame
- Per l'esame scritto bisogna presentarsi muniti di un documento di identità e dello statino valido per sostenere l'esame; detto statino verrà ritirato all'inizio della prova
- Durante lo svolgimento della prova scritta lo studente deve avere con sé solo l'occorrente per scrivere e per fare calcoli e disegni; sono esclusi i calcolatori programmabili anche di tipo *notebook* o *laptop*
- Dopo aver assistito alla correzione del primo gruppo di esercizi, ci si può ritirare; in tal caso sarà restituito lo statino e si potrà ripresentare in uno degli appelli successivi. Per chi continua, affrontando la seconda parte dello scritto, l'esito dell'esame sarà comunque registrato
- In sede di registrazione del voto finale, i candidati dovranno presentare tre diverse analisi (in continua, in regime sinusoidale e in transitorio) effettuate con PSpice
- A quei candidati che per qualunque motivo non si saranno presentati alla registrazione degli esiti finali, verrà comunque registrato l'esito della prova scritta

Anno: Periodo 3:1 Lezione, Esercitazione: 4+4 (ore settimanali); Laboratorio: 10 (in totale)

Docente: (I corso) Claudio Beccari  
(II corso) Pierluigi Civera  
Collab.: Marco Knaflitz

L'insegnamento di Teoria dei circuiti elettronici si colloca come interfaccia fra i corsi propedeutici di Elettrotecnica e di Dispositivi elettronici e i corsi applicativi che cominciano con Elettronica applicata e proseguono con tutti gli altri insegnamenti caratterizzanti e specialistici del Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica.

L'obiettivo del corso è quello di acquisire dimestichezza con l'analisi dei circuiti attivi lineari e con il progetto dei più semplici circuiti lineari, dagli amplificatori ai filtri attivi.

#### REQUISITI

*Elettrotecnica*

#### PROGRAMMA

- Dispositivi attivi: diodo, transistore a giunzione, transistore a effetto di campo; modelli per piccolo segnale e modelli per il regime stazionario. Polarizzazione dei dispositivi attivi, ricerca del punto di lavoro e determinazione dei parametri differenziali
- Amplificatori elementari a emettitore/*source* comune, a collettore/*drain* comune, a base/gate comune e amplificatore differenziale; cenni agli amplificatori differenziali commerciali
- Modello di Giacoleto per il transistore in alta frequenza; risposta degli amplificatori nel dominio della frequenza con l'analisi dettagliata dell'effetto prodotto dalle varie capacità presenti nel circuito
- La controreazione: teoria e metodi di analisi dei circuiti reazionati; metodi di Rosenstark e di Blackman. Stabilità e criteri di Bode, Nyquist, Hurwitz e del luogo delle radici. Oscillatori sinusoidali
- Applicazioni elementari dell'amplificatore differenziale (ideale): sommatore, integratore, convertitori di impedenza (negativi e generalizzati), supercondensatore e superinduttore, giratore
- Funzioni di rete: proprietà formali e matematiche; stabilità, passività; condizioni di realizzabilità dei bipoli passivi, LC, RC e RL; sintesi dei bipoli LC, RC ed RL
- Filtri passivi: filtri passabasso di Butterworth e di Chebyshev, trasformazioni di frequenza. Filtri ritardatori di Bessel. Progetto di filtri passivi mediante l'uso dei cataloghi dei filtri normalizzati
- Filtri RC-attivi ottenuti mediante la simulazione dei filtri reattivi attraverso l'uso dei convertitori generalizzati di impedenza
- Sensibilità delle funzioni di rete; sensibilità alle variazioni dei parametri matematici, alle variazioni dei parametri elettrici; indici di sensibilità multiparametrica

- Filtri RC-attivi realizzati mediante la connessione in cascata di celle biquadratiche; celle a reazione positiva o negativa esaltata; ottimizzazione della scomposizione della funzione di trasferimento

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni avvengono tutte in aula e consistono nello svolgimento di esercizi da parte degli allievi, non da parte degli esercitatori, che sono presenti in aula per fornire delucidazioni e spiegazioni individuali e collettive sui problemi e sulle lacune che possono venire al pettine solo mettendo in pratica quanto appreso e capito dalle lezioni.

Il esercitazioni rispecchia fedelmente quello delle lezioni.

## LABORATORIO

I docenti del corso, ritenendola una cosa utile per gli allievi, hanno allestito un laboratorio "virtuale" per i Circuiti elettronici. Il laboratorio è virtuale in quanto si appoggia all'uso del programma PSpice, che i docenti hanno ottenuto in uso gratuito dalla società produttrice, con il permesso di duplicarlo illimitatamente e di distribuirlo agli studenti.

A partire dall'inizio di dicembre, circa, quando la direzione dei Laboratori di Informatica avrà stabilito gli orari di accesso, saranno messe a disposizione una ventina di stazioni di lavoro presso uno dei LAIB, a cui gli studenti potranno accedere negli orari stabiliti e dove troveranno almeno un docente esercitatore a disposizione per le spiegazioni sull'uso del programma, suggerimenti sugli esperimenti da fare, eccetera.

Lo scopo è quello di familiarizzare con i circuiti in modo da saper leggere con facilità i diagrammi con le prestazioni, confrontare circuiti simili, controllare le variazioni introdotte mediante la modifica dei parametri, e simili.

La frequenza del laboratorio è facoltativa, nel senso che chi dispone di un elaboratore individuale può svolgere queste esperienze a casa; tuttavia è consigliabile di rivolgersi ai docenti esercitatori durante le ore di laboratorio per le consulenze riguardanti queste attività sperimentali.

## BIBLIOGRAFIA

C. Beccari e P. Civera, *"Teoria dei circuiti elettronici"*, CLUT, Torino, 1996

### Testi ausiliari

J. Millman e A. Grabel, *"Microelectronics"*, McGraw Hill Intern. Ed., New York, 1987 (Cap. 1-5, 10-15) (Disponibile anche in italiano nella traduzione pubblicata dalla McGraw Hill Italiana)

A.S. Sedra, K.C. Smith, *"Circuiti per la microelettronica"*, Ingegneria 2000, Roma, 1994 (Cap. 1-12. App. B-D)

C.J. Savant, M.S. Roden, G.L. Carpenter, *"Electronic design. Circuits and systems"*, The Benjamin Cummings Publ. Co. Inc., Redwood City, 1991 (Cap. 1-5, 7-11. App. A-E)

## ESAME

- L'esame consiste in una prova scritta e in una prova orale

- Si è ammessi all'orale se si consegue nella prova scritta una votazione di almeno 15/30
- Durante la prova scritta si possono consultare testi a stampa, non si possono usare calcolatrici programmabili, non ci si può ritirare se non dopo aver consegnato ed aver assistito alla correzione
- La prova scritta e la prova orale hanno lo stesso peso nella determinazione del voto finale

**L5801****Teoria dei segnali I**

Anno: Periodo 3:1 Lezione, Esercitazione: 6+4 (ore settimanali); Laboratorio: 12 (ore durante tutto il corso).

Docente: Letizia Lo Presti ( F. Neri)

L'insegnamento si propone di fornire gli strumenti metodologici fondamentali per la descrizione, l'analisi e la modellizzazione dei segnali sia di tipo determinato sia di tipo aleatorio. Vengono inoltre illustrate le tecniche di caratterizzazione dei sistemi e di elaborazione dei segnali, sia a tempo continuo che a tempo discreto. Le tecniche descritte vengono applicate nelle esercitazioni di laboratorio.

**REQUISITI**

*Analisi Matematica III (r), Calcolo delle probabilità.*

**PROGRAMMA**

Teoria dei segnali determinati: [4 ore]

- Definizione del segnale e sua rappresentazione nello spazio dei segnali

Analisi in frequenza: [5 ore]

- Definizione dello spettro di un segnale come trasformata di Fourier e richiami sulle proprietà della trasformata di Fourier
- Definizione dello "spettro a righe" per i segnali periodici

Sistemi lineari a tempo continuo: [4 ore]

- Definizione di un sistema LTI e sua caratterizzazione nel dominio del tempo e della frequenza.

Analisi armonica: [4 ore]

- Introduzione del concetto di spettro di energia e spettro di potenza
- Definizione della funzione di autocorrelazione

Il segnale analitico: [3 ore]

- Definizioni e proprietà del segnale analitico

Tecniche numeriche di analisi spettrale: [6 ore]

- Introduzione della trasformata di Fourier discreta (DFT) per la valutazione numerica degli spettri di ampiezza di segnali ad energia finita e periodici. Descrizione dell'algoritmo FFT

Teoria dei segnali a tempo discreto: [6 ore]

- Definizione dei segnali a tempo discreto e loro caratterizzazione nel dominio  $Z$  (trasformata  $Z$ ) e nel dominio della frequenza (trasformata di Fourier a tempo discreto)

Sistemi a tempo discreto: [3 ore]

- Definizione dei sistemi a tempo discreto e loro caratterizzazione mediante risposta all'impulso, funzione di trasferimento e risposta in frequenza

Filtri numerici: [5 ore]

- Cenni sulle tecniche di progetto di filtri FIR e IIR
- Tecniche di filtraggio nel dominio della frequenza per mezzo della DFT

Il teorema del campionamento [2 ore]

Introduzione ai processi casuali: [6 ore]

- Caratterizzazione statistica dei processi casuali (densità di probabilità, medie di insieme, autocorrelazione)

Trasformazione di processi casuali: [4 ore]

- Caratterizzazione statistica dei processi integrati, derivati, filtrati e modulati

Stazionarietà, ergodicità e caratteristiche spettrali: [8 ore]

- Definizione di stazionarietà e ciclostazionarietà. Caratterizzazione dei processi nel dominio della frequenza.

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni verteranno sul programma svolto a lezione.

## LABORATORIO

1. Analisi in frequenza con tecniche numeriche (DFT, FFT)
2. Progetto di filtri numerici

## BIBLIOGRAFIA

L. Lo Presti, F. Neri, “*L’Analisi dei Segnali*”, CLUT, 1992

L. Lo Presti, F. Neri, “*Introduzione ai Processi Casuali*”, CLUT, 1994

### Testi ausiliari

A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer, “*Discrete-Time Signal Processing*”, Prentice-Hall, 1989

A. Papoulis, “*Probability, Random Variables and Stochastic Processes*”, McGraw Hill, 1984

W. Gardner, “*Introduction to Random Processes with Applications to Signals and Systems*”, McGraw Hill, 1990

## ESAME

L’esame può essere sostenuto secondo due modalità distinte:

- Esame tradizionale:
  - Consiste in una prova scritta ed una prova orale che devono essere sostenute nello stesso appello
  - Entrambe le prove vertono sull’intera materia del corso
  - Per accedere alla prova orale è necessario ottenere una valutazione della prova scritta superiore o uguale a 15/30
  - La valutazione in trentesimi dell’esame consiste nella media aritmetica dei due voti ottenuti nella prova scritta e nella prova orale
  - I risultati degli esami di tutti coloro che consegnano la prova scritta vengono registrati, qualunque sia il risultato finale
  - La prova scritta può essere consegnata non più di una volta per sessione
- Esame con esoneri:
  - Consiste nel superamento di due prove di esonero durante lo svolgimento del corso

- La prima prova di esonero si svolge dopo circa 7 settimane dall'inizio del corso e verte sugli argomenti trattati fino alla sesta settimana di lezione
- La seconda prova di esonero si svolge immediatamente dopo la fine del corso e verte sugli argomenti trattati a partire dalla settima settimana di lezione
- Indicando con V1 e V2 le valutazioni ottenute durante le prove di esonero, se entrambe sono maggiori di 18/30 la valutazione finale proposta per l'esame consiste nella media aritmetica di V1 e V2
- Se entrambe le valutazioni sono inferiori a 18/30 la prova viene considerata nulla e lo studente deve sostenere l'esame tradizionale in una qualunque sessione d'esame
- Nel caso in cui una delle due valutazioni sia insufficiente o in cui lo studente sia insoddisfatto del voto in essa ottenuto, o ancora egli non abbia svolto una delle due prove di esonero, tale prova può essere sostituita con un'ulteriore prova di recupero, da svolgersi o nel primo o nel secondo appello della I sessione ordinaria e vertente sull'intera materia del corso
- La prova di recupero sostituisce la prova insufficiente, mancante o insoddisfacente, ed il voto finale proposto viene calcolato come media aritmetica secondo le modalità precedenti
- Le valutazioni negative ottenute in una qualunque delle fasi dell'esame con esoneri non vengono registrate
- La consegna di una prova scritta d'esame in un qualunque appello annulla automaticamente un eventuale voto proposto ottenuto con un esame con esoneri
- I voti proposti devono essere registrati entro la fine della II sessione, dopodiché decadono senza conseguenze per lo studente

#### Tipologia delle prove:

- Le prove scritte, sia d'esame che di esonero, possono essere di due tipi:
  - 12-15 brevi esercizi a risposte multiple
  - 3 esercizi tradizionali
- La scelta del tipo di prova è a discrezione del docente, e la durata è di tre ore
- Durante le prove scritte è possibile consultare soltanto i due bibliografia

Anno: Periodo 3:1 Lezione, Esercitazione: 6+4 (ore settimanali) (66+48 in totale);  
Laboratorio: 12 (in tutto il corso)

Docente: Marina Mondin

L'insegnamento si propone di fornire gli strumenti metodologici fondamentali per la descrizione, l'analisi e la modellizzazione dei segnali sia di tipo determinato sia di tipo aleatorio. Vengono inoltre illustrate le tecniche di caratterizzazione dei sistemi e di elaborazione dei segnali, sia a tempo continuo che a tempo discreto, con particolare attenzione alle applicazioni di telecomunicazioni.

Le tecniche descritte vengono applicate nelle esercitazioni di laboratorio.

#### REQUISITI

*Analisi Matematica III (L0234), Calcolo delle probabilità (L0494)*

#### PROGRAMMA

Teoria dei segnali determinati [4 ore]

definizione del segnale e sua rappresentazione nello spazio dei segnali.

Analisi in frequenza [4 ore]

definizione dello spettro di un segnale come trasformata di Fourier e richiami sulle proprietà della trasformata di Fourier. Definizione dello "spettro a righe" per i segnali periodici.

Sistemi lineari a tempo continuo [4 ore]

definizione di un sistema LTI e sua caratterizzazione nel dominio del tempo e della frequenza.

Analisi armonica [5 ore]

introduzione del concetto di spettro di energia e spettro di potenza. Definizione della funzione di autocorrelazione.

Il segnale analitico [3 ore]

definizioni e proprietà del segnale analitico.

Il fenomeno di Gibbs [2 ore]

calcolo dello spettro di segnali troncati nel tempo e descrizione del fenomeno di Gibbs.

Tecniche numeriche di analisi spettrale [6 ore]

introduzione della trasformata di Fourier discreta (DFT) per la valutazione numerica degli spettri di ampiezza di segnali ad energia finita e periodici. Descrizione dell'algoritmo FFT.

Teoria dei segnali a tempo discreto [7 ore]

definizione dei segnali a tempo discreto e loro caratterizzazione nel dominio  $Z$  (trasformata  $Z$ ) e nel dominio della frequenza (trasformata di Fourier a tempo discreto).

Sistemi a tempo discreto [3 ore]

definizione dei sistemi a tempo discreto e loro caratterizzazione mediante risposta all'impulso, funzione di trasferimento e risposta in frequenza.

Il teorema del campionamento [2 ore]

Tecniche di simulazione [6 ore]

la simulazione dei segnali e dei sistemi LTI. Il progetto del simulatore mediante la trasformata bilineare e la tecnica del campionamento in frequenza.

Introduzione ai processi casuali [6 ore]

caratterizzazione statistica dei processi casuali (densità di probabilità, medie di insieme, autocorrelazione).

Trasformazione di processi casuali [4 ore]

caratterizzazione statistica dei processi integrati, derivati, filtrati e modulati.

Stazionarietà, ergodicità e caratteristiche spettrali [8 ore] definizione di stazionarietà e ciclostazionarietà. Caratterizzazione dei processi nel dominio della frequenza.

Esempi applicativi [2 ore]

## ESERCITAZIONI

Le esercitazioni verteranno sul programma svolto a lezione.

## LABORATORIO

1. Analisi in frequenza con tecniche numeriche (DFT, FFT)
2. Simulazione di un sistema di trasmissione numerica

## BIBLIOGRAFIA

L. Lo Presti, F. Neri, "*L'Analisi dei Segnali*", CLUT, 1992

L. Lo Presti, F. Neri, "*Introduzione ai Processi Casuali*", CLUT, 1994

### Testi ausiliari(per approfondimenti)

A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer, "*Discrete-Time Signal Processing*", Prentice-Hall, 1989

A. Papoulis, "*Probability, Random Variables and Stochastic Processes*", Mc Graw Hill, 1984.

W. Gardner, "*Introduction to Random Processes with Applications to Signals and Systems*", Mc. Graw Hill, 1990.

## ESAME

L'esame può essere sostenuto secondo due modalità distinte:

(1) esame tradizionale, (2) esame con esoneri.

- (1) L'esame tradizionale consiste in una prova scritta ed una prova orale che devono essere sostenute nello stesso appello. Entrambe le prove vertono sull'intera materia del corso. Per accedere alla prova orale è necessario ottenere una valutazione della prova scritta superiore o uguale a 15/30. La valutazione in trentesimi dell'esame consiste nella media aritmetica dei due voti ottenuti nella prova scritta e nella prova orale. I risultati degli esami di tutti coloro che consegnano la prova scritta vengono registrati, qualunque sia il risultato finale. La prova scritta può essere consegnata non più di una volta per sessione.
- (2) L'esame con esoneri consiste nel superamento di due prove di esonero durante lo svolgimento del corso. La prima prova di esonero si svolge dopo circa 7 settimane dall'inizio del corso e verte sugli argomenti trattati fino alla sesta settimana di lezione.

ne. La seconda prova di esonero si svolge immediatamente dopo la fine del corso e verte sugli argomenti trattati a partire dalla settima settimana di lezione. Indicando con V1 e V2 le valutazioni ottenute durante le prove di esonero, se entrambe sono maggiori di 18/30 la valutazione finale proposta per l'esame consiste nella media aritmetica di V1 e V2. Se entrambe le valutazioni sono inferiori a 18/30 la prova viene considerata nulla e lo studente deve sostenere l'esame tradizionale in una qualunque sessione d'esame. Nel caso in cui una delle due valutazioni sia insufficiente o in cui lo studente sia insoddisfatto del voto in essa ottenuto, o ancora egli non abbia svolto una delle due prove di esonero, tale prova può essere sostituita con un'ulteriore prova di recupero, da svolgersi o nel primo o nel secondo appello della I sessione ordinaria e vertente sull'intera materia del corso. La prova di recupero sostituisce la prova insufficiente, mancante o insoddisfacente, ed il voto finale proposto viene calcolato come media aritmetica secondo le modalità precedenti. Le valutazioni negative ottenute in una qualunque delle fasi dell'esame con esoneri non vengono registrate. La consegna di una prova scritta d'esame in un qualunque appello annulla automaticamente un eventuale voto proposto ottenuto con un esame con esoneri. I voti proposti devono essere registrati entro la fine della II sessione, dopodichè decadono senza conseguenze per lo studente.

Tipologia delle prove:

Le prove scritte, sia d'esame che di esonero, possono essere di due tipi:

- 12-15 brevi esercizi a risposte multiple
- 3 esercizi tradizionali

La scelta del tipo di prova è a discrezione del docente, e la durata è di tre ore.

Durante le prove scritte è possibile consultare soltanto i due bibliografia.

**F5802-L5802****Teoria dei segnali II**

Anno: Periodo 4:2 Lezione, Esercitazione: 7+3 (ore settimanali)

Docente: Letizia Lo Presti

Lo scopo del corso è quello di descrivere gli strumenti più moderni per l'analisi e l'elaborazione dei segnali. Partendo da una base teorica vengono presentati alcuni dei metodi numerici maggiormente utilizzati nelle applicazioni di ingegneria.

La prima parte del corso è dedicata ai metodi numerici che consentono di eseguire l'analisi spettrale di segnali di tipo casuale. Poiché i segnali del mondo fisico sono spesso di tipo non stazionario, nella seconda parte del corso è dato ampio spazio all'analisi dei processi non stazionari. Dopo avere introdotto il concetto di piano tempo-frequenza e dei piani tempo-scala, vengono descritti i metodi per eseguire l'analisi dei segnali in tali piani, con una particolare attenzione alle metodologie nel tempo-discreto.

**REQUISITI**

Teoria dei Segnali I

**PROGRAMMA**

Processi casuali a tempo discreto [4 ore]

Stima spettrale classica e parametrica [12 ore]

Trasformate sul piano tempo-frequenza per la localizzazione temporale delle caratteristiche in frequenza dei segnali: [44 ore]

- trasformata di Fourier a breve termine
- trasformata ad ondine ('*Wavelet Transform*')
- distribuzioni delle classi di Cohen.

**LABORATORIO**

Le esercitazioni si svolgono presso il LAIB utilizzando la libreria di 'Signal Processing' del programma MATLAB e riguardano le metodologie a tempo-discreto descritte a lezione.

**BIBLIOGRAFIA**

Verranno preparate delle dispense

**Testi ausiliari**

S. Kay, "*Modern Spectral Estimation*", Prentice-Hall 1988

B. Porat, "*Digital Processing of Random Signals*", Prentice-Hall, 1994

**ESAME**

L'esame può essere sostenuto secondo tre modalità distinte:

1. esame tradizionale: consiste in una prova scritta ed una prova orale che devono essere sostenute nello stesso appello. Entrambe le prove vertono sull'intera materia del corso. Per accedere alla prova orale è necessario ottenere una valutazione della

prova scritta superiore o uguale a 15/30. La valutazione in trentesimi dell'esame consiste nella media aritmetica dei due voti ottenuti nella prova scritta e nella prova orale

2. esame con esoneri: consiste nel superamento di due prove di esonero durante lo svolgimento del corso
3. esame con tesina: L'esame tradizionale può essere sostituito da una tesina

Tipologia delle prove:

Le prove scritte, sia d'esame che di esonero, possono essere di due tipi:

1. 12-15 brevi esercizi a risposte multiple
2. 3/4 esercizi tradizionali

La scelta del tipo di prova è a discrezione del docente, e la durata è di tre ore.

**L5811-N5811****Teoria dei sistemi (continui)**

Anno: Periodo 3:1 Lezione, Esercitazione, Laboratorio: 6+2+2 (ore settimanali)

Docente: Mario Milanese (Collaboratori: Ing. Stefano Malan, Ing. Stefano Carabelli)

**REQUISITI**

*Analisi Matematica III, Fondamenti di informatica II.*

Per una proficua frequenza, gli studenti, oltre alle requisiti sopra indicate, dovranno avere una buona conoscenza di calcolo differenziale e integrale, di algebra lineare e di fisica.

**PROGRAMMA**

- *I sistemi dinamici*: Definizione. Concetto di stato. Classificazione dei sistemi dinamici. Sistemi di equazioni differenziali e alle differenze lineari e loro soluzioni.
- *Sistemi lineari invarianti*: Trasformate di Laplace e Z. Equivalenza di sistemi dinamici. Forme canoniche.
- *Movimenti, equilibri e stabilità*: Movimenti e stati di equilibrio. Linearizzazione nell'intorno di un movimento. Stabilità alla Lyapunov semplice e asintotica. Criteri di stabilità per sistemi lineari varianti e invarianti nel tempo.
- *Criteri di stabilità per sistemi nonlineari*: Criteri di stabilità di Lyapunov e di Krasowski. Criterio di instabilità di Lyapunov. Teorema di Lyapunov per la stabilità asintotica di sistemi lineari invarianti. Criteri di stabilità e instabilità per linearizzazione. Regione di asintotica stabilità. Criterio di La Salle.
- *Controllabilità e posizionamento dei poli*: Sottospazi di raggiungibilità e controllabilità per sistemi lineari invarianti. Forma canonica di controllabilità. Forma canonica di Kalman. Posizionamento dei poli mediante controtazione degli stati, per sistemi controllabili e non controllabili.
- *Osservazione dello stato e regolatore*: Sottospazio di osservabilità. Forma canonica di osservabilità. Forma canonica di Kalman. Stima asintotica dello stato per sistemi osservabili e non osservabili. Posizionamento dei poli mediante osservatore. Irriducibilità dei sistemi controllabili e osservabili.
- *Stabilità esterna e risposte a regime*: Stabilità esterna e relazione con la stabilità asintotica. Risposta a regime di ingressi periodici. Diagrammi di Bode.
- *Identificabilità e proprietà strutturali*: Identificabilità globale, locale e strutturale. Criterio di identificabilità strutturale. Controllabilità e osservabilità strutturali.
- *Identificazione con errori limitati*: Stima dei minimi quadrati. Errori di stima in presenza di errori non noti ma limitati. Insieme delle stime ammissibili. Stimatori ottimi (a minimi intervalli di incertezza).

**ESERCITAZIONI**

Le esercitazioni in aula vertono su tre tipi di attività:

1. Addestrare gli studenti ad applicare le metodologie e gli algoritmi presentati a lezione.

2. Costruzione di modelli di sistemi dinamici di varia natura (meccanici, elettrici, termici, pneumatici, idraulici, economici, biologici,...) a cui applicare le metodologie sviluppate nel corso.
3. Preparazione alle attività da svolgere nelle esercitazioni di laboratorio. Uso di MATLAB.

### LABORATORIO

Il laboratorio verte sulla realizzazione di un sistema di controllo per la levitazione magnetica. Il sistema è intrinsecamente instabile e l'obiettivo è la realizzazione di stabilizzazione mediante controreazione con osservatore. L'esercitazione prevede lo svolgimento di tutte le principali fasi necessarie per l'identificazione e il controllo di un sistema fisico:

1. Costruzione di un modello a partire dai principi fisici.
2. Identificazione dei parametri incogniti del modello, usando misure ingresso-uscita sul sistema reale.
3. Valutazione delle incertezze dei parametri stimati.
4. Simulazione del modello complessivo nonlineare e confronto con il sistema reale.
5. Progettazione di un regolatore (posizionamento dei poli con osservatore dinamico) utilizzando il sistema linearizzato nell'intorno della posizione di levitazione desiderata.
6. Verifica delle prestazioni del regolatore sul modello nonlineare simulato.
7. Verifica delle prestazioni del regolatore sul sistema reale.

Lo studente dovrà documentare tutte queste fasi mediante una relazione scritta.

Le esercitazioni di laboratorio fanno parte integrante della valutazione d'esame e pertanto la frequenza al laboratorio è obbligatoria.

### BIBLIOGRAFIA

S. Rinaldi, "Teoria dei Sistemi", Clup, Milano 1993

Milanese, "Sinossi di Teoria dei Sistemi", Celid, Torino 1995.

### ESAME

L'esame prevede una prova scritta e una orale. Durante la prova scritta si possono consultare testi ed appunti. È possibile ritirarsi durante il compito.

L'orale si deve sostenere nello stesso appello dello scritto.

Al voto d'esame concorrerà la valutazione delle esercitazioni di laboratorio, effettuata nel corso di due fasi di valutazione durante lo svolgimento delle esercitazioni. In caso di valutazione non positiva lo studente dovrà discutere la tesi di laboratorio all'orale.

**L5812-N5812****Teoria dei sistemi (discreti)**

Anno: Periodo 3:2 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: *da nominare*

La teoria dei sistemi discreti offre fondamenti metodologici per lo studio di fenomeni rappresentabili da modelli matematici aventi variabili intere e costituiti sostanzialmente da equazioni differenziali.

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base per l'analisi di sistemi dinamici ad eventi discreti, deterministici e stocastici, a tempo discreto e a tempo continuo. Esempi di questo tipo di sistemi sono: sistemi digitali di calcolo, strutture di dati, reti di calcolatori, allocazione di risorse ecc.

Durante il corso verranno proposte agli studenti tesine di ricerca, attinenti agli argomenti trattati.

Il corso (dispense, comunicazioni, tesi e tesine, seminari, collegamenti con altri centri di studio ecc.) sarà disponibile all'interno del servizio Ulisse.

**REQUISITI**

*Calcolo delle probabilità (r) (INF), Automatica e Informatica.*

**PROGRAMMA**

- Aspetti di base della Teoria dei Sistemi Discreti [4 ore]
- Teoria degli automi deterministici [14 ore]
- Teoria degli automi non deterministici [14 ore]
- Catene di Markov a tempo discreto [12 ore]
- Catene di Markov a tempo continuo [12 ore]
- Teoria delle code [18 ore]
- Reti di code [8 ore]
- Simulazione [12 ore]
- Cenni di Schedulazione [10 ore]

**ESERCITAZIONI**

Per ciascuno dei punti del programma verranno svolte esercitazioni in aula.

**BIBLIOGRAFIA**

Dispense del corso.

**Testi ausiliari**

Martinoli, "La Simulazione Oggi", VII ediz., F. Angeli, Milano, 1994

Tornambè, "Teoria dei Sistemi Discreti", CLUP, Torino, 1994

## ESAME

- Il corso prevede due esoneri scritti durante il semestre, della durata di 2 ore ciascuno. Il superamento di entrambe gli esoneri può sostituire l'esame finale orale. In questo caso il voto finale si ottiene combinando i risultati dei due esoneri, pesati in funzione del programma, misurato in ore, coperto da ciascun esonero. Lo studente che volesse migliorare il risultato del I e/o del II esonero può sostenere l'esame orale relativamente al programma coperto dall'esonero stesso. In tale caso il risultato dell'esonero viene dimenticato. Gli esoneri hanno una validità temporale che coincide con l'anno accademico nel quale sono stati svolti
- Le tesine di ricerca danno diritto ad un incremento fino a 4 punti del voto finale, in funzione della qualità del lavoro di ricerca svolto

**F5870-L5870****Teoria dell'informazione e codici**

Anno: Periodo 5:2 Lezione, Esercitazione: 6+2 (ore settimanali)

Docente: Michele Elia

Il corso presenta la teoria dei codici correttori d'errore e la crittografia nel contesto della teoria dell'informazione di Shannon. Gli argomenti sono introdotti seguendo un approccio induttivo ma orientato a fornire le basi assiomatiche ed i metodi algebrici indispensabili per una comprensione dei principi e delle tecniche che consentano una padronanza anche operativa delle nozioni teoriche. Lo svolgimento degli argomenti è prettamente teorico ed ha carattere spiccatamente matematico, tuttavia le applicazioni dirette di tali concetti astratti sono di notevole interesse pratico.

**REQUISITI**

*Teoria dei segnali, Comunicazioni elettriche.*

**PROGRAMMA**

- Introduzione ai sistemi di comunicazione numerici e modello di Shannon della comunicazione.
- Teoria dell'informazione. Entropia e mutua informazione. Entropia differenziale. Primo e secondo teorema di Shannon. Teorema del *data processing*. Natura discreta dell'informazione.
- Canale discreto privo di memoria e sua capacità di Shannon.
- Teoria dei codici a blocco e loro decodifica. Codici lineari. Condizioni di esistenza: Bound di Shannon, Bound di Singleton, Bound di Plotkin e Bound di Gilbert-Varshamov,.
- Codici ciclici. Codici BCH. Codici di Hamming e codici di Golay.
- Codici di Reed-Solomon.
- Codici di Goppa.
- Valutazione delle prestazioni sul canale BSC. Probabilità di errore.
- Algoritmi di decodifica. Complessità di codificatori e decodificatori.
- Principi di crittografia. Scenario applicativo.
- Crittografia in chiave privata e generatori di vermes.
- Crittografia in chiave pubblica.
- Protocolli per la protezione dell'informazione nelle trasmissioni su reti pubbliche o private. Il problema della distribuzione delle chiavi.
- Firma elettronica. Autenticazione e controllo degli accessi.

**BIBLIOGRAFIA**

R.J.McEliece, "*The Theory of Information and Coding*", Addison-Wesley, 1977

J.H.vanLint, "*Introduction to Coding Theory*", Springer-verlag, 1982

F.J.MacWilliams, N.J.A.Sloane, "*The Theory of Error-Correcting Codes*", Addison-Wesley, 1976

T.M.Cover, J.A.Thomas, "*Elements of Information Theory*", New York: Wiley, 1991

N.Koblitz, "*A Course in Number Theory and Cryptography*", Springer-verlag, 1987

H.vanTilborg, "*An Introduction to Cryptology*", Kluwer, 1988

ESAME

L'esame consiste in una prova scritta sugli argomenti base del programma.

**F5955-L5955****Termodinamica applicata, acustica applicata e illuminotecnica (i)**

Anno: Periodo 2/3/4: 2 Lezione, Esercitazione (in aula o in laboratorio): 4+4 (ore settimanali)

Docente: M. Masoero (Collab.: Carlo Cima, Chiara Silvi)

Il corso è costituito dall'unione dei due corsi ridotti di Termodinamica applicata ed Acustica applicata e illuminotecnica.

Il corso di Termodinamica applicata riprende la teoria classica della termodinamica ed i concetti fondamentali della trasmissione del calore e della meccanica dei fluidi per sviluppare quindi una serie di argomenti ingegneristici, con particolare riferimento ad applicazioni nel settore dell'informazione (controllo termico in elettronica, fenomeni termoelettrici, termometria), alla conversione dell'energia e al controllo ambientale.

Il corso di Acustica applicata e illuminotecnica si propone di fornire innanzitutto le nozioni teoriche fondamentali dell'acustica applicata e dell'illuminotecnica, sviluppando quindi una serie di applicazioni di interesse per il settore dell'informazione. Pur nella loro individualità, tali discipline vengono affrontate con un taglio metodologico comune: si parte da un richiamo sulla fisica del fenomeno acustico e luminoso, per passare poi alla percezione soggettiva del fenomeno da parte dell'uomo.

**REQUISITI**

*Fisica II*

**PROGRAMMA**

- Definizioni e concetti fondamentali della termodinamica: sistema termodinamico e sue proprietà, equilibrio, trasformazioni. Equazioni costitutive.
- L'energia ed il primo principio della termodinamica; bilanci energetici di sistemi aperti e chiusi; applicazioni a casi pratici.
- L'entropia ed il secondo principio della termodinamica; applicazioni a casi pratici.
- Processi di conversione dell'energia: cicli termodinamici e conversione termoelettrica.
- Proprietà termodinamiche dell'aria umida e principi di climatizzazione ambientale.
- Fenomeni di trasporto; trasmissione del calore per conduzione, convezione e irraggiamento; descrizione fenomenologica ed equazioni fondamentali; elementi di meccanica dei fluidi.
- Termometria; caratteristiche dei sensori e metodologie sperimentali in campo termico.
- Problemi applicativi di trasmissione del calore con particolare riferimento al controllo termico dei dispositivi elettronici.
- Acustica fisica: grandezze acustiche e campi sonori; suoni puri e complessi; spettri sonori; sorgenti sonore.
- Elementi di acustica psico-fisiologica; valutazione dell'intensità soggettiva di suoni puri e complessi; mascheramento e comprensione del parlato.

- Propagazione sonora in campo libero e riverberato; proprietà acustiche dei materiali; acustica degli ambienti chiusi.
- Problemi di rumore ambientale: effetti del rumore, normativa e tecniche di mitigazione
- Metodologie di analisi sperimentale e teorico-numerica in campo acustico ed applicazioni a problemi di interesse nel settore dell'informazione.
- Fotometria; definizione delle grandezze fotometriche; correlazione tra energia e flusso luminoso.
- Colorimetria; criteri di definizione di un sistema colorimetrico; sistema CIE.
- Sorgenti di luce artificiale ed apparecchi di illuminazione; problemi progettuali in campo illuminotecnico.
- Metodologie di analisi sperimentale e teorico-numerica in campo illuminotecnico ed applicazioni a problemi di interesse nel settore dell'informazione.

### ESERCITAZIONI

Nelle esercitazioni in aula vengono proposti esercizi numerici ed approfondimenti relativi agli argomenti trattati nel corso. Le esercitazioni di laboratorio riguardano prevalentemente la termometria, la climatizzazione ambientale, le caratteristiche e l'uso della strumentazione per rilievi fonometrici ed illuminotecnici.

### BIBLIOGRAFIA

- C. Boffa, P. Gregorio "Elementi di Fisica Tecnica - Volume II", ed. Levrotto & Bella  
P. Gregorio "Esercizi di Fisica Tecnica", ed. Levrotto & Bella  
A. Sacchi, C. Cagliaris "Manuale di Fisica Tecnica - Volume uno: Acustica ed Illuminotecnica", Ed. UTET

### ESAME

Trattandosi di un corso nuovo, verranno stabilite in base al studenti iscritti

**F6040****Trasmissione numerica**

Anno: Periodo 4:1 Lezione ed Esercitazione: ~10 (ore settimanali)

Docente: Sergio Benedetto

Il corso si propone come prosecuzione e arricchimento del corso di Comunicazioni Elettriche specialistico, del quale amplia la parte di programma relativa alla trasmissione numerica. Nel corso si dedica ampio spazio alle tecniche di codifica di canale per la protezione dell'informazione trasmessa, e si studiano le tecniche fondamentali di progetto dei demodulatori numerici, quali l'equalizzazione adattativa e la sincronizzazione.

**REQUISITI**

*Teoria dei Segnali, Comunicazioni Elettriche Specialistico.*

**PROGRAMMA**

*La codificazione di canale*

- I codici a blocco lineari
- I codici a blocco ciclici
- I codici convoluzionali
- I codici concatenati
- Le prestazioni dei codici e le loro applicazioni
- La modulazione codificata e traliccio.

*La trasmissione numerica su canali "reali"*

- L'interferenza intersimbolica nei sistemi di trasmissione coerenti

*La sincronizzazione di portante e di simbolo*

*Ricevitori adattativi ed equalizzazione di canale*

- L'equalizzatore a linea di ritardo
- L'algoritmo del gradiente

**ESERCITAZIONI**

A conclusione di ogni argomento significativo, verranno assegnati agli studenti dei compiti a casa, consistenti nella soluzione di problemi proposti nel libro di testo. Le soluzioni verranno ritirate, in media, una settimana dopo l'assegnazione, e saranno corrette da studenti-borsisti. Le esercitazioni consisteranno essenzialmente nella correzione in classe degli esercizi proposti.

**BIBLIOGRAFIA**

S. Benedetto e altri, "*Digital Transmission Systems*", Prentice Hall, 1987

Il libro è stato anche tradotto in italiano e pubblicato dalla Editoriale Jackson con il titolo: "*Teoria della trasmissione numerica*".

**ESAME**

La valutazione finale del corso viene fatta con le seguenti regole:

1. un compito scritto proposto a conclusione della prima parte del corso sulla codificazione di canale (35%)
2. un lavoro di gruppo (1-2 persone) (o tesina) consistente nella ricerca, lettura, comprensione, eventuali arricchimenti personali, di articoli (in inglese) su di un argomento specifico, con presentazione pubblica mediante lucidi di una sintesi personale (35%)
3. un'interrogazione orale sulla parte di corso non inclusa nel compito scritto e nel lavoro di gruppo (20%)
4. la correzione dei compiti a casa (10%)

Il corso si propone di esaminare i diversi aspetti legati al settore della telematica, partendo da quelli relativi al trasporto in rete dei flussi di informazione per la fornitura di servizi di telecomunicazione multimediali, ed arrivando fino alle applicazioni utente con caratteristiche multimediali. Per ciascuno dei punti si farà riferimento alle normative già adottate o in corso di studio da parte degli organismi di standardizzazione.

Il programma del corso può essere suddiviso in due parti fondamentali, una propriamente teorica, in cui vengono esaminati in dettaglio gli argomenti del corso, e una di esercitazioni ed approfondimento, con obiettivi sia di integrazione di quanto svolto a lezione, sia di approfondimento di argomenti specifici tramite lavori individuali o di gruppo.

La parte teorica sarà a sua volta suddivisa in due moduli, l'uno riguardante le applicazioni multimediali e il sistema d'utente, l'altro relativo agli aspetti di reti di telecomunicazioni per la multimedialità.

#### PROGRAMMA

*Applicazioni multimediali interattive.*

*Applicazioni multimediali interpersonali e cooperative* .[24 ore].

L'obiettivo di questa parte del corso è quello di fornire agli studenti le definizioni di base relative al settore della multimedialità.

- Definizione di multimedialità: applicazione, servizio e sistema multimediale
- Rappresentazione dell'informazione: caratteri, testo, documenti, voce (naturale e sintetica), audio (naturale e sintetico), video, grafica, multimedia ed ipermedia
- *Virtual machine*
- La produzione dell'informazione
- Ricerca dell'informazione: basi di dati, agenti intelligenti
- Esempi di applicazioni multimediali

*Nozioni propedeutiche* [6 ore]

L'obiettivo di questa parte del corso è quello di fornire agli studenti una rapida rassegna dei principi fondamentali delle tecniche di rete ed in particolare di quelle innovative, quali ATM e IP, e di fornire una panoramica informativa sui servizi e sistemi di comunicazione ad oggi disponibili, sull'evoluzione verso l'alta velocità, sulle prospettive di integrazione con i servizi a banda stretta, sugli apparati di interconnessione, sui sistemi di accesso.

- Principali caratteristiche dei servizi e dei sistemi di comunicazione ad oggi disponibili
- Evoluzione verso l'alta velocità e prospettive di integrazione con i servizi a banda stretta
- La tecnica di trasferimento e moltiplicazione asincrona ATM
- Il protocollo IP (algoritmi e protocolli di routing) e suite di protocolli TCP/IP
- Apparati di interconnessione (*bridge* locali e remoti, *router* multiprotocollo, *gateway* applicativi)
- Richiamo sulle principali tecniche trasmissive impiegabili nel segmento d'accesso
- Breve descrizione dei sistemi d'accesso (ATM e non) più promettenti per il supporto di servizi a larga banda.

*Infrastruttura di networking per la multimedialità* [24 ore]

L'obiettivo di tale parte è l'approfondimento degli aspetti legati al trasporto in rete della multimedialità.

- Il trasporto in rete della multimedialità: i "servizi offerti"
- Trasporto di flussi MPEG su ATM
- Servizi di videoconferenza H.261 su ATM tramite emulazione di circuito
- Servizi "Internet-like": il mondo delle realizzazioni su TCP/IP
- Confronto tra architetture e protocolli Internet e ATM:
- Aspetti di routing, addressing, gestione del traffico, qualità del servizio
- Le evoluzioni di IP ed ATM
- Attività di standardizzazione in corso: IETF, ATM Forum, ...

*Piattaforme di elaborazione distribuita* [4 ore]

L'obiettivo di questa parte è quello di dare una panoramica relativa alle piattaforme distribuite di elaborazione.

- Il *software* per le architetture di tlc e il paradigma orientato ad oggetti per l'elaborazione distribuita
- *Database* orientati ad oggetti
- Elaborazione distribuita e paradigma orientato ad oggetti
- Architettura distribuita ad oggetti (infrastruttura, linguaggi, IDL e API), attività internazionali e di standardizzazione (ODP, OMG, ...)
- Il paradigma orientato ad oggetti nelle tlc (TINA,...)
- Piattaforme per l'elaborazione distribuita ad oggetti (piattaforme *client server standard* OSF/DCE, piattaforme ad oggetti standard OMG/CORBA, aspetti OO in piattaforme proprietarie *OpenView*)

## ESERCITAZIONI

Le ore di esercitazione saranno in parte dedicate a visite presso CSELT di laboratori in cui si svolgano attività relative rispettivamente al modulo 1 e al modulo 2 delle lezioni. Le restanti ore di esercitazione verranno per lo più dedicate ad introdurre i concetti necessari e a garantire assistenza agli allievi nello svolgimento della tesina.

## BIBLIOGRAFIA

- D. Mc Dysan-D. Spohn, "*ATM: Theory and Application*", McGraw-Hill, 1994.  
 Francois Fluckiger, "*Understanding Networked Multimedia*", Prentice Hall 1995.  
 Comer D. "*The Internet Book*", Prentice Hall, 1994.  
 Partridge C. "*Gigabit Networking*", Addison & Wesley, 1994.

## ESAME

La valutazione sarà basata su 2 esoneri scritti da effettuare durante il semestre, il primo a seguito del primo modulo teorico, il secondo a seguito del secondo. Oltre agli esoneri, occorre inoltre svolgere una "tesina" di approfondimento che deve culminare con una presentazione, con cui si conclude l'esame.

Nel caso di esito non soddisfacente delle prove d'esonero, l'esame sarà sostenuto mediante una prova scritta ed una tesina.

## F5954-L5954-N5954 Termodinamica Applicata (r)

Anno : Periodo 2/3/4:2 Lezione, Esercitazione (in aula o in laboratorio): 4+4 (ore settimanali)

N.B. corso "concentrato" nei mesi di marzo e aprile

Docente: M. Masoero (Collab.: Carlo Cima, Chiara Silvi)

Il corso riprende la teoria classica della termodinamica ed i concetti fondamentali della trasmissione del calore e della meccanica dei fluidi per sviluppare quindi una serie di argomenti ingegneristici, con particolare riferimento ad applicazioni nel settore dell'informazione (controllo termico in elettronica, fenomeni termoelettrici, termometria), alla conversione dell'energia e al controllo ambientale.

### REQUISITI

*Fisica II*

### PROGRAMMA

- Definizioni e concetti fondamentali della termodinamica: sistema termodinamico e sue proprietà, equilibrio, trasformazioni. Equazioni costitutive.
- L'energia ed il primo principio della termodinamica; bilanci energetici di sistemi aperti e chiusi; applicazioni a casi pratici.
- L'entropia ed il secondo principio della termodinamica; applicazioni a casi pratici.
- Processi di conversione dell'energia: cicli termodinamici e conversione termoelettrica.
- Proprietà termodinamiche dell'aria umida e principi di climatizzazione ambientale.
- Fenomeni di trasporto; trasmissione del calore per conduzione, convezione e irraggiamento; descrizione fenomenologica ed equazioni fondamentali; elementi di meccanica dei fluidi.
- Termometria; caratteristiche dei sensori e metodologie sperimentali in campo termico.
- Problemi applicativi di trasmissione del calore con particolare riferimento al controllo termico dei dispositivi elettronici.

### ESERCITAZIONI

Nelle esercitazioni in aula vengono proposti esercizi numerici ed approfondimenti relativi agli argomenti trattati nel corso. Le esercitazioni di laboratorio riguardano prevalentemente la termometria e la climatizzazione ambientale.

### BIBLIOGRAFIA

- C. Boffa, P. Gregorio *"Elementi di Fisica Tecnica - Volume IP"*, ed. Levrotto & Bella  
 P. Gregorio *"Esercizi di Fisica Tecnica"*, ed. Levrotto & Bella



# Indice alfabetico per insegnamento

Acustica Applicata e Illuminotecnica (r)	59
Analisi funzionale	61
Analisi matematica I	62
Analisi matematica II	64
Analisi matematica III (r)	66
Antenne	68
Architettura dei sistemi integrati	70
Automazione a fluido	72
Automazione industriale	74
Azionamenti elettrici per l'automazione	76
Basi di dati	78
Biomeccanica	80
Calcolatori elettronici	82
Calcolo delle probabilità	84
Calcolo delle probabilità (r)	85
Calcolo numerico	86
Calcolo numerico (r)	88
Campi elettromagnetici I (ELN)	90
Campi elettromagnetici I (TLC)	92
Campi elettromagnetici II (ELN)	94
Campi elettromagnetici II (TLC)	96
Chimica	97
Compatibilità elettromagnetica	100
Componenti e circuiti ottici	102
Comunicazioni elettriche (gen)	104
Comunicazioni Elettriche (spec)	105

Comunicazioni Elettriche (Spec)	108
Comunicazioni ottiche	110
Controlli Automatici (Generale)	111
Controlli automatici (gen) (INF)	113
Controlli automatici (spec)	115
Controllo dei processi	117
Controllo digitale	119
Dispositivi elettronici I	121
Dispositivi elettronici 2 + Elettronica dello stato solido	124
Economia dei Sistemi industriali	127
Economia e gestione dei servizi	128
Economia ed organizzazione aziendale	129
Economia ed organizzazione aziendale	131
Elaborazione dati e segnali biomedici	132
Elaborazione numerica dei segnali	135
Elementi di meccanica teorica e applicata	137
Elettronica Applicata I (TLC)	139
Elettronica applicata (ELN)	141
Elettronica applicata I	144
Elettronica applicata II	146
Elettronica Applicata II (TLC)	148
Elettronica dei sistemi digitali	151
Elettronica delle microonde	154
Elettronica delle telecomunicazioni	156
Elettronica dello stato solido (r)	158
Elettronica di potenza	160
Elettronica industriale di potenza	163
Elettrotecnica (ELN)	166
Elettrotecnica (INF) I corso	169

Fisica I	172
Fisica II	175
Fisica dei laser	178
Fisica delle superfici (r)	180
Fisica dello stato solido	182
Fisica matematica	184
Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica	186
Fondamenti di informatica I	189
Fondamenti di informatica II, Sistemi informativi I (TLC)	191
Geometria	193
Informatica grafica	195
Ingegneria del software I	197
Ingegneria del software II	199
Intelligenza artificiale	201
Istituzioni di economia	203
Istituzioni di meccanica quantistica	204
Linguaggi e traduttori	206
Macchine elettriche	208
Meccanica analitica	210
Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo	212
Microelettronica (ELN/INF)	214
Microonde	216
Misure su Sistemi di Trasmissione e Telemisure	218
Misure su Sistemi di Trasmissione e Telemisure	219
Misure a iperfrequenze	221
Misure elettroniche	223
Misure per l'automazione e la produzione industriale	225
Elettronica dello stato solido (r)	227
Modellistica e identificazione	229

Ottimizzazione	231
Optoelettronica	233
Propagazione	235
Reti di calcolatori I	237
Reti di calcolatori II	239
Reti di telecomunicazioni I	241
Reti di telecomunicazioni II	244
Reti elettriche non lineari	246
Reti logiche (ELN)	248
Reti logiche (INF)	251
Ricerca operativa	253
Robotica industriale	255
Scienza e tecnologia dei materiali polimerici I	258
Sensori e trasduttori	260
Sistemi di commutazione	261
Sistemi di elaborazione I	262
Sistemi di elaborazione II	264
Sistemi di radiocomunicazione I	266
Sistemi di radiocomunicazione II	268
Sistemi di telecomunicazione	269
Sistemi informativi I (ELN)	272
Sistemi informativi I (TLC)	274
Sistemi informativi II	275
Sistemi operativi	277
Sistemi per la progettazione automatica	279
Strumentazione biomedica	281
Strumentazione e misure elettroniche	282
Struttura della materia (sperimentale)	284
Superconduttività (r)	285

	325
Tecnologie e materiali per l'elettronica I	287
Tecnologie e materiali per l'elettronica II	289
Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica	290
Teoria dei circuiti	293
Teoria dei circuiti elettronici	296
Teoria dei segnali I	299
Teoria dei segnali I	302
Teoria dei segnali II	305
Teoria dei sistemi (continui)	307
Teoria dei sistemi (discreti)	309
Teoria dell'informazione e codici	311
Termodinamica applicata, acustica applicata e illuminotecnica (i)	313
Trasmissione numerica	315
Telematica	317
Termodinamica Applicata (r)	319