Guide ai corsi di laurea

Politecnico di Torino 1993/94

Ingegneria elettronica

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

Corso di laurea	*Presidente – Coordinatore*
Ingegneria civile	Prof. Cesare Castiglia
Ingegneria edile	Prof. Gian Paolo Scarzella
Ingegneria aeronautica	Prof. Giuseppe Bussi
Ingegneria chimica	Prof. Vito Specchia
Ingegneria dei materiali	Prof. Aurelio Burdese
Ingegneria elettrica	Prof. Mario Lazzari
Ingegneria meccanica	Prof. Gustavo Belforte
Ingegneria nucleare	Prof. Evasio Lavagno
Ingegneria delle telecomunicazioni	Prof. Mario Pent
Ingegneria elettronica	Prof. Carlo Naldi
Ingegneria informatica	Prof. Paolo Prinetto
Ingegneria gestionale	Prof. Sergio Rossetto
Ingegneria per l'ambiente e il territorio	Prof. Sebastiano Pelizza

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

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

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

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

Indice

5 Presentazione
23 Programmi degli insegnamenti
105 Indice alfabetico degli insegnamenti
108 Indice alfabetico dei docenti

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

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

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

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

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

[1] Decreto rettorale 1096 del 1989-10-31, pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 45 del 1990-02-23.

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

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

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

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

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

---

[2] Pubblicato sulla *Gazzetta ufficiale* n. 186 del 1989-08-10.

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

Corso di laurea in

Ingegneria elettronica

1 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 sottosettori 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 della 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.

2 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 3*), 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 1* 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 2*, oltre al resto, verrà esposta una trattazione della termodinamica (spostata da *Fisica 1* a *Fisica 2* 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 dei modelli della trattazione dei campi elettromagnetici.
- La presenza di *Elettrotecnica* nel primo periodo del secondo anno consente ad un maggior numero di corsi di avvalersi delle metodologie rappresentative messe a punto da tale corso. Il fatto però che esso preceda *Analisi matematica 3*, ove vengono introdotte le trasformate di Laplace, comporta che il calcolo simbolico generalizzato 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:

- due corsi ridotti di *Meccanica applicata alle macchine* e di *Termodinamica applicata*, che forniscono il minimo indispensabile di conoscenze interdisciplinari, che possono essere ulteriormente approfondite mediante corsi specifici in alcuni orientamenti;
- un corso di *Economia e organizzazione aziendale*, nel quale i principi di economia e di gestione aziendale vengono ampliati con cenni di microeconomia.

La laurea in *Ingegneria elettronica* mantiene l'obiettivo di una formazione ad ampio spettro culturale e professionale nel campo dell'elettronica: pertanto l'insieme dei corsi obbligatori deve garantire una approfondita base di conoscenze in ciascheduno dei principali orientamenti che al momento si possono individuare nello sbocco scientifico-professionale di un ingegnere elettronico. Per ogni specifico orientamento sono previsti almeno tre insegnamenti obbligatori. La formazione di base viene in seguito integrata da approfondimenti, nei sottosettori specifici, che consentano un più proficuo inserimento nell'ambiente di ricerca–sviluppo o della produzione (vedi oltre "Orientamenti"). 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.

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 quale il Pascal e il Fortran 77. La conoscenza del Fortran potrà essere usata in *Calcolo numerico*.
- *Sistemi informativi 1:* fornisce informazioni approfondite sulla struttura dei sistemi di elaborazione e illustra le metodologie avanzate di programmazione (con particolare riferimento alle strutture dati, agli algoritmi, alle grammatiche ed ai linguaggi) e di ingegneria del *software*.
- *Sistemi informativi 2:* 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*:
- *Teoria dei segnali:* 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 sia 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* 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*, 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 2, 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 dispositivi 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 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, Dispositivi elettronici 2, Elettronica delle telecomunicazioni* ed *Elettronica dei sistemi digitali.*

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 seguente.

Quadro didattico degli insegnamenti obbligatori

1:1 *(1. anno, 1. periodo didattico)*
L0231 : Analisi matematica 1
L0620 : Chimica

1:2 L2300 : Geometria
L1901 : Fisica 1
L2170 : Fondamenti di informatica

2:1 L0232 : Analisi matematica 2
L1902 : Fisica 2
L1790 : Elettrotecnica

2:2 L1441 : Dispositivi elettronici 1
L0234 : Analisi matematica 3 (ridotto)
L0494 : Calcolo delle probabilità (ridotto)
L5954 : Termodinamica applicata (ridotto)
L3214 : Meccanica applicata alle macchine (ridotto)

3:1 L5770 : Teoria dei circuiti elettronici
L0510 : Calcolo numerico
Z_1

3:2 L5011 : Sistemi informativi 1
L0531 : Campi elettromagnetici 1
L1710 : Elettronica applicata

4:1 L4540 : Reti logiche
L3670 : Misure elettroniche
Z_2

4:2 Z_3
Z_4
Z_5

5:1 Z_6
Y_1
Y_2

5:2 Y_3
Y_4
Y_5

Z_1–Z_6 scelte su corsi obbligatori, Y_1–Y_5 corsi di orientamento

3 Orientamenti

Il corso di laurea in *Ingegneria elettronica* prevede diversi orientamenti. Questi sono conseguiti mediante opportune scelte su due gruppi di materie, indicate nel precedente quadro didattico dalle lettere Z_n ed Y_n.

Nel primo gruppo di materie (Z) dovranno essere effettuate le seguenti scelte:

Z_1 un corso a scelta fra:
L5800 : Teoria dei segnali
L5811 : Teoria dei sistemi (continui)

Z_2 un corso a scelta fra:
L0270 : Antenne
L0770 : Componenti e circuiti ottici
L3570 : Microonde
L5750 : Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica

Z_3 un corso di:
L0801 : Comunicazioni elettriche (generale)
L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale)
con l'obbligo di inserire il corso specialistico se in Z_1 è stato scelto il corso *L5800 : Teoria dei segnali.*

Z_4 un corso di:
L0841 : Controlli automatici (generale)
L0842 : Controlli automatici (speciale)
con l'obbligo di inserire il corso specialistico se in Z_1 è stato scelto il corso *L5811 : Teoria dei sistemi (continui).*

Z_5 un corso a scelta fra:
L1730 : Elettronica dei sistemi digitali
L1442 : Dispositivi elettronici 2
L3560 : Microelettronica
L1740 : Elettronica delle telecomunicazioni

Z_6 un corso a scelta fra:
L1530 : Economia ed organizzazione aziendale
L1531 : Economia ed organizzazione aziendale 1

L'orientamento viene caratterizzato da 5 insegnamenti specialistici, indicati con le lettere Y_1–Y_5 nel quadro didattico, dove almeno tre di essi sono vincolanti per la caratterizzazione di ciascun orientamento. In particolare ogni studente dovrà obbligatoriamente scegliere almeno 3 corsi di una delle liste relative a ciascun orientamento riportate nel seguito. Gli ultimi due corsi possono essere scelti o nell'ambito di un altro orientamento o entro la lista generale allegata in calce, con l'unico obbligo di rispettare le eventuali precedenze richieste dai singoli corsi.

Gli orientamenti previsti sono i seguenti:

1. *Sistemi elettronici*
2. *Microelettronica*
3. *Tecnologie elettroniche*
4. *Microonde e circuiti ottici*
5. *Elettromagnetismo*
6. *Telerilevamento e diagnostica dell'ambiente*
7. *Strumentazioni e misure*
8. *Automatica*
9. *Elettronica industriale*
10. *Elettronica–meccanica*
11. *Informatica: microelettronica*
12. *Informatica: sistemi*
13. *Telecomunicazioni: apparati*
14. *Telecomunicazioni: reti*
15. *Avionica*
16. *Gestionale*

Ogni orientamento è stato individuato separando per aree di applicazione la formazione dell'ingegnere elettronico e si basa inoltre sulle precise competenze scientifiche e didattiche consolidate presso il Politecnico di Torino.

Gli insegnamenti dovranno essere scelti preferibilmente nell'ambito delle discipline elencate nel seguito con l'avvertenza che almeno tre devono ritenersi vincolanti.

Nella scelta dei corsi dell'orientamento o della lista generale occorre rispettare tutte le precedenze previste; in particolare quelli che prevedono *Teoria dei segnali* o *Teoria dei sistemi*. L'elenco delle precedenze relative agli insegnamenti ufficiali del corso di laurea è consultabile nel capitolo relativo ai piani di studi individuali della *Guida dello studente*. L'obbligatorietà della scelta del corso di *Teoria dei segnali* o *Teoria dei sistemi* è segnata esplicitamente negli orientamenti ove risulti indispensabile: è comunque possibile scegliere entrambi i corsi e quindi rafforzare la preparazione di base utilizzando uno dei posti non prefissati del quinto anno; in questo caso però diventa obbligatoria la scelta del corrispondente corso specialistico di *Comunicazioni elettriche* e di *Controlli automatici*, che viene pertanto spostato al 2. semestre del 5. anno.

Dopo il titolo del corso, tra parentesi quadre, è indicato il periodo didattico.

---

1. Sistemi elettronici

Z_1 L5800 : Teoria dei segnali [1]
Z_3 L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale) [2]
Z_5 L1730 : Elettronica dei sistemi digitali [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L0300 : Architetture dei sistemi integrati [1]
N5050 : Sistemi per la progettazione automatica [1]
L581x : Teoria dei sistemi [1,2]
L1760 : Elettronica di potenza [1]
N2630 : Impianti di elaborazione [1]
N4520 : Reti di calcolatori [2]

Il corso *N2630 : Impianti di elaborazione* deve essere preceduto da *N4520 : Reti di calcolatori.*
Per *L581x : Teoria dei sistemi* si può scegliere *L5811 : Teoria dei sistemi (continui) [1]* oppure *L5812 : Teoria dei sistemi (discreti) [2]*; nel primo caso però si deve seguire il corso specialistico *L0842 : Controlli automatici (speciale) [2].*

---

2. Microelettronica

Z_1 L5800 : Teoria dei segnali [1]
Z_3 L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale) [2]
Z_5 L3560 : Microelettronica [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L0300 : Architetture dei sistemi integrati [1]
L5690 : Tecnologie e materiali per l'elettronica [1]
L3800 : Modellistica e identificazione [1]
L1740 : Elettronica delle telecomunicazioni [2]
L5012 : Sistemi informativi 2 [2]
L1442 : Dispositivi elettronici 2 [2]
L2000 : Fisica dello stato solido [2]

Sequenza suggerita: *L0300 : Architetture dei sistemi integrati —> L1740 : Elettronica delle telecomunicazioni.*

---

3. Tecnologie elettroniche

Z_1 L5800 : Teoria dei segnali [1]
Z_3 L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale) [2]
Z_5 L1442 : Dispositivi elettronici 2 [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]

Y_n Insegnamento a scelta tra:
L5690 : Tecnologie e materiali per l'elettronica [1]
L5404 : Superconduttività (ridotto) [1]
L3050 : Istituzioni di meccanica quantistica [1]
L3560 : Microelettronica [2]
L2000 : Fisica dello stato solido [2]
L1780 : Elettronica quantistica [2]
E4680 : Scienza e tecnologia dei materiali polimerici [2]

Si consiglia che *L2000 : Fisica dello stato solido* e/o *L1780 : Elettronica quantistica* siano precedute da *L3050 : Istituzioni di meccanica quantistica.*

---

4. Microonde e circuiti ottici

Z_1 L5800 : Teoria dei segnali [1]
Z_2 L3570 : Microonde [1]
Z_3 L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale) [2]
Z_5 L1442 : Dispositivi elettronici 2 [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L0770 : Componenti e circuiti ottici [1]
L5690 : Tecnologie e materiali per l'elettronica [1]
L0270 : Antenne [1]
L3870 : Optoelettronica [2]
L1780 : Elettronica quantistica [2]
L3620 : Misure a iperfrequenze [2]

---

5. Elettromagnetismo

Z_1 L5800 : Teoria dei segnali [1]
Z_2 L3570 : Microonde [1]
Z_3 L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale) [2]
Z_5 L1442 : Dispositivi elettronici 2 [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L0270 : Antenne [1]
L2030 : Fisica matematica [1]
L3050 : Istituzioni di meccanica quantistica [1]
L0220 : Analisi funzionale [2]
L4360 : Propagazione [2]
L0532 : Campi elettromagnetici 2 [2]
L3620 : Misure a iperfrequenze [2]

Non confondere *L0532 : Campi elettromagnetici 2*, insegnamento di tipo specialistico, con l'omonima disciplina *F0532* del corso di laurea in *Ingegneria delle telecomunicazioni*, che invece è di tipo generale.

---

6. *Telerilevamento e diagnostica dell'ambiente*

Z_1 L5800 : Teoria dei segnali [1]
Z_2 L5750 : Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica [1]
Z_3 L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale) [2]
Z_5 L1730 : Elettronica dei sistemi digitali [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L4700 : Sensori e trasduttori [1]
L3790 : Modellistica e controllo dei sistemi ambientali [1]
L3800 : Modellistica e identificazione [1]
N3000 : Intelligenza artificiale [2]
L4920 : Sistemi di telecomunicazione [2]
L5260 : Strumentazione e misure elettroniche [2]

7. *Strumentazioni e misure*

Z_1 L5800 : Teoria dei segnali [1]
Z_3 L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale) [2]
Z_5 L1740 : Elettronica delle telecomunicazioni [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_3 L0760 : Compatibilità elettromagnetica [2]
$Y_{1,2,4,5}$ Insegnamento a scelta tra:
L2150 : Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica [1]
L3690 : Misure per l'automazione e la produzione industriale [1]
L4700 : Sensori e trasduttori [1]
L5750 : Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica [1]
L3700 : Misure su sistemi di trasmissione e telemisure [2]
L3620 : Misure a iperfrequenze [2]
L5260 : Strumentazione e misure elettroniche [2]
L5870 : Teoria dell'informazione e codici [2]
L1570 : Elaborazione di dati e segnali biomedici [2]

8. *Automatica*

Z_1 L5811 : Teoria dei sistemi (continui) [1]
Z_3 L0842 : Controlli automatici (speciale) [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L4550 : Ricerca operativa [1]
L0370 : Automazione industriale [1]
L4580 : Robotica industriale [1]
L3690 : Misure per l'automazione e la produzione industriale [1]
L3800 : Modellistica e identificazione [1]
L0850 : Controllo dei processi [1]
L0220 : Analisi funzionale [2]
L0870 : Controllo digitale [2]
N3460 : Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo [2]
L5812 : Teoria dei sistemi (discreti) [2]

9. Elettronica industriale

Z_1 L5811 : Teoria dei sistemi (continui) [1]
Z_3 L0842 : Controlli automatici (speciale) [2]
Z_5 L1730 : Elettronica dei sistemi digitali [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_3 L0760 : Compatibilità elettromagnetica [2]
$Y_{1,2,4,5}$ Insegnamento a scelta tra:
L1760 : Elettronica di potenza [1]
L4580 : Robotica industriale [1]
L3690 : Misure per l'automazione e la produzione industriale [1]
L0850 : Controllo dei processi [1]
L1770 : Elettronica industriale di potenza [1]
H0380 : Azionamenti elettrici [2]

10. Elettronica–meccanica

Z_1 L5811 : Teoria dei sistemi (continui) [1]
Z_3 L0842 : Controlli automatici (speciale) [2]
Z_5 L1730 : Elettronica dei sistemi digitali [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L4580 : Robotica industriale [1]
L1770 : Elettronica industriale di potenza [1]
P3280 : Meccanica dei robot [1]
L0850 : Controllo dei processi [1]
P0350 : Automazione a fluido [1]
L3130 : Macchine elettriche [1]
P5640 : Tecnologia meccanica [1]
N0390 : Azionamenti elettrici per l'automazione [2]

11. Informatica: microelettronica

Z_5 L3560 : Microelettronica [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L0300 : Architetture dei sistemi integrati [1]
N5050 : Sistemi per la progettazione automatica [1]
N2630 : Impianti di elaborazione [1]
N2850 : Informatica grafica [1]
L5012 : Sistemi informativi 2 [2]
N2941 : Ingegneria del software 1 [2]
N4520 : Reti di calcolatori [2]

Il corso *N2630 : Impianti di elaborazione* deve essere preceduto da *N4520 : Reti di calcolatori.*

12. Informatica: sistemi

Z_5 L1730 : Elettronica dei sistemi digitali [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L4550 : Ricerca operativa [1]
N5050 : Sistemi per la progettazione automatica [1]
N2630 : Impianti di elaborazione [1]
N2850 : Informatica grafica [1]
L5012 : Sistemi informativi 2 [2]
N2941 : Ingegneria del software 1 [2]
N4520 : Reti di calcolatori [2]
N3000 : Intelligenza artificiale [2]

Il corso *N2630 : Impianti di elaborazione* deve essere preceduto da *N4520 : Reti di calcolatori.*

13. Telecomunicazioni e apparati

Z_1 L5800 : Teoria dei segnali [1]
Z_2 L3570 : Microonde [1]
Z_3 L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale) [2]
Z_5 L1740 : Elettronica delle telecomunicazioni [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L1590 : Elaborazione numerica dei segnali [1]
F6040 : Trasmissione numerica [1]
L0270 : Antenne [1]
L5012 : Sistemi informativi 2 [2]
L4920 : Sistemi di telecomunicazione [2]

14. Telecomunicazioni: reti

Z_1 L5800 : Teoria dei segnali [1]
Z_3 L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale) [2]
Z_5 L1740 : Elettronica delle telecomunicazioni [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
F4530 : Reti di telecomunicazioni [1]
F4850 : Sistemi di commutazione [1]
L4900 : Sistemi di radiocomunicazione [1]
L5012 : Sistemi informativi 2 [2]
L5870 : Teoria dell'informazione e codici [2]
L3700 : Misure su sistemi di trasmissione e telemisure [2]

15. Avionica

Z_1 L5800 : Teoria dei segnali [1]
Z_2 L3570 : Microonde [1]
Z_3 L0802 : Comunicazioni elettriche (speciale) [2]
Z_5 L1740 : Elettronica delle telecomunicazioni [2]
Z_6 L1530 : Economia ed organizzazione aziendale [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
B3300 : Meccanica del volo [1]
B1250 : Dinamica del volo [1]
L0270 : Antenne [1]
L4920 : Sistemi di telecomunicazione [2]
L3700 : Misure su sistemi di trasmissione e telemisure [2]
L5870 : Teoria dell'informazione e codici [2]

16. Gestionale

Z_1 L5811 : Teoria dei sistemi (continui) [1]
Z_3 L0842 : Controlli automatici (speciale) [2]
Z_5 L1730 : Elettronica dei sistemi digitali [2]
Z_6 L1531 : Economia ed organizzazione aziendale 1 [1]
Y_n Insegnamento a scelta tra:
L4550 : Ricerca operativa [1]
L0370 : Automazione industriale [1]
L1500 : Economia e gestione dei servizi [1]
L2860 : Informatica industriale [2]
L1510 : Economia e gestione dell'innovazione [2]
L5812 : Teoria dei sistemi (discreti) [2]
L1532 : Economia ed organizzazione aziendale 2 [2]

Eventuali corsi non attivati in tempo utile verranno mutuati da corsi esistenti.

4 Elenco generale dei corsi per la scelta di discipline opzionali.

È cura dello studente inserire nel proprio piano degli studi solo corsi effettivamente attivati tra quelli sotto elencati e di curare che siano soddisfatte le procedure previste per ogni disciplina.

periodo	*corso*	*(dal corso di laurea in ...)*
		(Ingegneria aeronautica)
2	B1260	Dinamica del volo spaziale
2	B2220	Gasdinamica
1	B2570	Impianti aeronautici
2	B5230	Strumentazione aeronautica
		(Ingegneria chimica)
1	C0694	Chimica organica (ridotto)
2	C5570	Tecnologia dei materiali e chimica applicata
		(Ingegneria civile)
2	D0190	Analisi dei sistemi
2	D1870	Esercizio dei sistemi di trasporto
2	D3040	Istituzioni di economia
1	D3910	Pianificazione dei trasporti
1	D4180	Progettazione di sistemi di trasporto
1	D5490	Tecnica ed economia dei trasporti
2	D5740	Telerilevamento
2	D5880	Teoria e tecnica della circolazione
		(Ingegneria dei materiali)
1	E1750	Elettronica dello stato solido
2	E3880	Ottica
1	E4590	Scienza dei materiali
2	E4630	Scienza e tecnologia dei materiali ceramici
1	E4640	Scienza e tecnologia dei materiali compositi
2	E4680	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici
		(Ingegneria delle telecomunicazioni)
2	F1940	Fisica dei laser
1	F4850	Sistemi di commutazione
		(Ingegneria edile)
1	G1360	Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche
2	G4480	Recupero e conservazione degli edifici
1	G5200	Storia dell'architettura
1	G5210	Storia dell'architettura e dell'urbanistica
		(Ingegneria elettrica)
1	H2701	Impianti elettrici 1
1	H3204	Meccanica analitica (ridotto)
2	H3640	Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici
1	H3660	Misure elettriche
1	H4600	Scienza delle costruzioni
1	H5440	Tecnica della sicurezza elettrica
		(Ingegneria elettronica)
2	L1570	Elaborazione di dati e segnali biomedici
2	L5240	Strumentazione biomedica

(Ingegneria gestionale)

1	M1380	Disegno assistito dal calcolatore
2	M1560	Economia politica
2	M2720	Impianti industriali
2	M3030	Istituzioni di diritto pubblico e privato
1	M3500	Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici
2	M3740	Modelli per il supporto alle decisioni
1	M4090	Produzione assistita da calcolatore
2	M4350	Programmazione e controllo della produzione meccanica
2	M4840	Sistemi di analisi finanziaria
2	M4940	Sistemi dinamici
2	M5175	Statistica aziendale + Marketing industriale (integrato)

(Ingegneria informatica)

2	N0410	Basi di dati
1	N0460	Calcolatori elettronici
2	N2860	Informatica industriale
2	N3070	Linguaggi e traduttori
1	N4881	Sistemi di elaborazione 1
2	N4882	Sistemi di elaborazione 2
2	N5004	Sistemi energetici (ridotto)
1	N5030	Sistemi operativi

(Ingegneria meccanica)

2	P0450	Biomeccanica
1	P1165	Criogenia + Tecnica del freddo (integrato)
2	P1430	Disegno tecnico industriale
2	P2080	Fluidodinamica
1	P3100	Logistica industriale
1	P3230	Meccanica dei fluidi
2	P3290	Meccanica del veicolo
1	P3710	Misure termiche e regolazione
2	P3850	Oleodinamica e pneumatica
1	P5410	Tecnica del controllo ambientale
1	P6030	Trasmissione del calore

(Ingegneria nucleare)

2	Q3110	Macchine
1	Q3390	Meccanica statistica
1	Q5270	Strumentazione e misure per gli impianti nucleari

(Ingegneria per l'ambiente e il territorio)

1	R1460	Economia applicata all'ingegneria
1	R1640	Elementi di ecologia
1	R1994	Fisica delle superfici (ridotto)
2	R2010	Fisica dell'atmosfera
2	R2090	Fluidodinamica ambientale
1	R2190	Fotogrammetria
2	R2240	Geofisica applicata
2	R2245	Geofisica applicata + Rilevamento geologico tecnico (integrato)
1	R2501	Idraulica ambientale
1	R3920	Pianificazione e gestione delle aree metropolitane
1	R4000	Principi di ingegneria chimica ambientale
2	R6023	Topografia C

(La stessa tavola, in ordine alfabetico di titolo di corso, prescindendo dal corso di laurea cui il corso appartiene):

periodo		*corso*
2	D0190	Analisi dei sistemi
2	N0410	Basi di dati
2	P0450	Biomeccanica
1	N0460	Calcolatori elettronici
1	C0694	Chimica organica (ridotto)
1	P1165	Criogenia + Tecnica del freddo (integrato)
2	B1260	Dinamica del volo spaziale
1	G1360	Disciplina giuridica delle attività tecnico-ingegneristiche
1	M1380	Disegno assistito dal calcolatore
2	P1430	Disegno tecnico industriale
1	R1460	Economia applicata all'ingegneria
2	M1560	Economia politica
2	L1570	Elaborazione di dati e segnali biomedici
1	R1640	Elementi di ecologia
1	E1750	Elettronica dello stato solido
2	D1870	Esercizio dei sistemi di trasporto
2	F1940	Fisica dei laser
2	R2010	Fisica dell'atmosfera
1	R1994	Fisica delle superfici (ridotto)
2	P2080	Fluidodinamica
2	R2090	Fluidodinamica ambientale
1	R2190	Fotogrammetria
2	B2220	Gasdinamica
2	R2240	Geofisica applicata
2	R2245	Geofisica applicata + Rilevamento geologico tecnico (integrato)
1	R2501	Idraulica ambientale
1	B2570	Impianti aeronautici
1	H2701	Impianti elettrici 1
2	M2720	Impianti industriali
2	N2860	Informatica industriale
2	M3030	Istituzioni di diritto pubblico e privato
2	D3040	Istituzioni di economia
2	N3070	Linguaggi e traduttori
1	P3100	Logistica industriale
2	Q3110	Macchine
1	H3204	Meccanica analitica (ridotto)
1	P3230	Meccanica dei fluidi
2	P3290	Meccanica del veicolo
1	Q3390	Meccanica statistica
1	M3500	Metodi probabilistici, statistici e processi stocastici
2	H3640	Misure e collaudo di macchine e impianti elettrici
1	H3660	Misure elettriche
1	P3710	Misure termiche e regolazione
2	M3740	Modelli per il supporto alle decisioni
2	P3850	Oleodinamica e pneumatica
2	E3880	Ottica
1	D3910	Pianificazione dei trasporti
1	R3920	Pianificazione e gestione delle aree metropolitane
1	R4000	Principi di ingegneria chimica ambientale
1	M4090	Produzione assistita da calcolatore
1	D4180	Progettazione di sistemi di trasporto

2	M4350	Programmazione e controllo della produzione meccanica
2	G4480	Recupero e conservazione degli edifici
1	E4590	Scienza dei materiali
1	H4600	Scienza delle costruzioni
2	E4630	Scienza e tecnologia dei materiali ceramici
1	E4640	Scienza e tecnologia dei materiali compositi
2	E4680	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici
2	M4840	Sistemi di analisi finanziaria
1	F4850	Sistemi di commutazione
1	N4881	Sistemi di elaborazione 1
2	N4882	Sistemi di elaborazione 2
2	M4940	Sistemi dinamici
2	N5004	Sistemi energetici (ridotto)
1	N5030	Sistemi operativi
2	M5175	Statistica aziendale + Marketing industriale (integrato)
1	G5200	Storia dell'architettura
1	G5210	Storia dell'architettura e dell'urbanistica
2	B5230	Strumentazione aeronautica
2	L5240	Strumentazione biomedica
1	Q5270	Strumentazione e misure per gli impianti nucleari
1	P5410	Tecnica del controllo ambientale
1	H5440	Tecnica della sicurezza elettrica
1	D5490	Tecnica ed economia dei trasporti
2	C5570	Tecnologia dei materiali e chimica applicata
2	D5740	Telerilevamento
2	D5880	Teoria e tecnica della circolazione
2	R6023	Topografia C
1	P6030	Trasmissione del calore

Programmi degli insegnamenti

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

La presente Guida *è andata in stampa il 1993-07-26, e quanto riportato è da ritenersi aggiornato a quella data. La ristrettezza dei tempi di edizione non ha permesso di sottoporre all'attenzione dei singoli docenti i testi che seguono per una finale revisione: il CIDEM si scusa con docenti e studenti per eventuali sviste ed errori residui, assumendosene la responsabilità, e ringrazia anticipatamente coloro che vorranno segnalarli.*

L 0231 Analisi matematica 1

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

Prof. Anita Tabacco, Prof. Fulvio Ricci, Prof. Renato Ascoli (Matematica)

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

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

PROGRAMMA.
Teoria degli insiemi.
Insiemi di numeri e loro proprietà: interi, razionali, reali.
Elementi di geometria analitica piana.
Limiti di funzioni di variabile reale.
Successioni.
Continuità e derivabilità.
Proprietà delle funzioni continue e delle funzioni derivabili in un intervallo.
Funzioni elementari.
Sviluppi di Taylor.
Integrali definiti.
Integrazione definita.
Integrali impropri.
Equazioni differenziali del primo ordine (risoluzione di equazioni a variabili separabili, omogenee e lineari).

L 0620 Chimica

Anno:periodo 1:1 Impegno (ore): lezioni 85 esercitazioni 40 (settimanali 6/3)

Prof. Alessandro Delmastro, Prof. Daniele Mazza, Prof. Emma Angelini
(Scienza dei materiali e ing. chimica)

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

PROGRAMMA

Chimica generale.

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

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

Legame ionico, covalente, metallico. Energia reticolare, energia di legame. Grado di ossidazione.

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

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

Stato solido. Reticolo cristallino e cella elementare. Difetti reticolari. Soluzioni solide.

Stato vetroso. Composti non stechiometrici.

Stato liquido. Equazione di Clausius–Clapeyron. Tensione di vapore delle soluzioni. Fenomeni crioscopici ed ebullioscopici. Pressione osmotica.

Energia interna ed entalpia. Effetto termico delle reazioni. Entropia ed energia libera di reazione. Velocità di reazione. Catalisi. Legge dell'azione di massa. Principio dell'equilibrio mobile.

Regola delle fasi. Diagrammi di stato a uno e due componenti. Applicazione della legge delle fasi agli equilibri chimici eterogenei.

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

Chimica inorganica.

Proprietà e metodi di preparazione industriale di alcuni elementi e loro principali composti.

Chimica organica.

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

BIBLIOGRAFIA

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

L 1901 Fisica 1

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 75 esercitazioni 25 laboratori (turni, 1/8 di corso)

Prof. Ottavia Filisetti Borello, Prof. Giovanni Barbero, Prof. Alfredo Strigazzi (Fisica)

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

PROGRAMMA

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

Cinematica del punto.

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

Dinamica del punto.

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

Statica del punto.

Campi conservativi.

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

Oscillazioni: armonica semplice, smorzata, forzata.

Risonanza. Oscillatore anarmonico. Oscillatori accoppiati.

Dinamica dei sistemi.

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

Statica dei sistemi.

Meccanica dei fluidi. Legge di Stevino. Legge di Archimede. Equazione di continuità. Teorema di Bernoulli. Tensione superficiale.

Onde elastiche.

Ottica geometrica.

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

ESERCITAZIONI E LABORATORI

In aula: esercizi applicativi sul programma del corso.

In laboratorio (*computer on line*): misurazione di spostamenti e velocità in caduta libera, e dell'accelerazione di gravità; misurazione del periodo del pendolo semplice in funzione della lunghezza e dell'elongazione; misure di indici di rifrazione col metodo dell'angolo di deviazione minima.

BIBLIOGRAFIA

C. Mencuccini, V. Silvestrini, *Fisica : meccanica, termodinamica*, Liguori, Napoli, 1987.

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

R.P. Feynmann, R.B. Leighton, M. Sands, *La fisica di Feynmann*, Addison Wesley, London, 1969.

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

L 2170 Fondamenti di informatica

Anno:periodo 1:2 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 laboratori 56 (settimanali 6/2/4)

Prof. Giorgio Bruno, Prof. Elio Piccolo, Prof. Angelo Raffaele Meo
(Automatica e informatica)

Il corso intende fornire agli allievi i fondamenti dell'informatica sia sotto l'aspetto dello *hardware* che del *software*. Particolare importanza viene data ai principi della programmazione mediante l'uso di linguaggi evoluti quali il Pascal. Vengono inoltre fornite nozioni introduttive sulla struttura degli elaboratori e sulla rappresentazione dell'informazione al loro interno.

PROGRAMMA
La prima parte del corso è rivolta ad illustrare la rappresentazione, all'interno degli elaboratori, dell'informazione numerica (numeri in virgola fissa e mobile) e non numerica (codici), le operazioni algebriche fondamentali in binario, i principi dell'algebra di Boole e l'applicazione dei teoremi alla minimizzazione delle espressioni logiche.
Successivamente si passa a descrivere la struttura del calcolatore (unità centrale, memoria centrale e memorie di massa) e le tecniche di interconnessione con i dispositivi periferici. Si affronta poi, anche se in modo non approfondito, il funzionamento del calcolatore, il linguaggio macchina, l'*assembler* e i principali componenti *software*: il sistema operativo (in generale, e l'MS-DOS in particolare), i compilatori, i programmi di servizio e i programmi applicativi.
Si forniscono infine i principi della programmazione strutturata utilizzando il linguaggio Pascal e, nella parte conclusiva del corso, si illustrano alcuni algoritmi di uso comune, quali quelli di *sort* e *merge* dei dati, quelli ricorsivi, quelli per la visita di alberi binari, ecc.

ESERCITAZIONI. Sono previste esercitazioni di programmazione in Pascal in aula e sugli elaboratori del LAboratorio di Informatica di Base.

BIBLIOGRAFIA
P. Demichelis, E. Piccolo, *Informatica di base, Fortran 77 e Pascal*, Levrotto & Bella, Torino, 1987.
E. Piccolo, E. Macii, *Fondamenti di informatica : testi d'esame ed esercizi svolti*, 2. ed., Levrotto & Bella, Torino, 1992.
E. Piccolo, *Tecniche di base e tecniche avanzate per l'uso del Personal Computer*, CLUT, Torino, 1992.
P. Prinetto, *Fondamenti di informatica : lucidi*, Levrotto & Bella, Torino, 1991.
P. Demichelis, E. Piccolo, *Pascal : trasparenze*, CLUT, Torino, 1992.
K. Jensen, N. Wirth, *Pascal user manual and report : ISO Pascal standard*, 3rd ed., Springer, New York, 1985.
M. Mezzalama, N. Montefusco, P. Prinetto, *Aritmetica dei calcolatori e codifica dell'informazione*, UTET, Torino, 1988.

L 2300 Geometria

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

Prof. Nadia Chiarli, Prof. Silvio Greco, *altro Docente da nominare* (Matematica)

Il corso si propone di fornire alcuni strumenti algebrici e geometrici di base, in stretto collegamento con le loro applicazioni alla fisica e all'ingegneria.
PROGRAMMA
Calcolo vettoriale.
Numeri complessi (inclusi fattorizzazione di polinomi ed esponenziale complesso).
Geometria analitica del piano. Coniche.
Geometria analitica dello spazio. Quadriche, coni, cilindri e superfici di rotazione.
Geometria differenziale delle curve.
Spazi vettoriali.
Calcolo matriciale.
Sistemi lineari. Applicazioni lineari.
Autovalori e autovettori. Forma canonica di Jordan.
Sistemi di equazioni differenziali lineari del primo ordine a coefficienti costanti.
Equazioni differenziali lineari di ordine n a coefficienti costanti.
Spazi con prodotto scalare reali e forme quadratiche.

BIBLIOGRAFIA
S. Greco, P. Valabrega, *Lezioni di matematica per allievi ingegneri*, Levrotto & Bella, Torino, 1992.
S. Greco, P. Valabrega, *Esercizi risolti*, Levrotto & Bella, Torino, 1992.
Cervelli, Di Lello, *Geometria : esercizi svolti*, CLUT (in corso di stampa).

L 0232 Analisi matematica 2

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

Prof. Andrea Bacciotti, Prof. Paolo Boieri, *altro Docente da nominare* (Matematica)

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

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

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

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

L 1790 Elettrotecnica

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

Prof. Vito Daniele, Prof. Roberto Graglia (Elettronica)

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

PROGRAMMA

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

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

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

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

Analisi delle reti nel dominio del tempo. Variabili di stato. Equazioni di stato della rete e soluzione. Casi particolari per reti del primo e del secondo ordine.

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

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

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

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

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

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

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

L 1902 Fisica 2

Anno:periodo 2:1 Impegno (ore): lezioni 75 esercitazioni 25 laboratori (turni, 1/8 di corso)

Prof. Bruno Minetti, Prof. Marco Omini (Fisica)

La prima parte del corso si propone di fornire agli studenti gli elementi di base necessari per la comprensione dell'elettromagnetismo nel vuoto e nella materia, della teoria delle onde elettromagnetiche e dell'ottica ondulatoria. La seconda parte è dedicata alla termodinamica classica e statistica, previa introduzione di alcuni principi fondamentali di fisica quantistica.

REQUISITI. *Fisica 1.*

PROGRAMMA
Polarizzazione elettrica. Dielettrici
Classificazione dei conduttori elettrici.
Proprietà di trasporto nei conduttori. Legge di Ohm. Effetti termoelettrici. Leggi di Kirchhoff e cenni ai circuiti RC.
Magnetismo.
Principio di Ampère. Circuitazione del campo magnetico. Formule di Laplace.
Interazione magnetica.
Forze tra correnti. Moto di particelle in campo magnetico. Forza di Lorentz e moto ciclotronico.
Descrizione empirica del magnetismo.
Isteresi magnetica. Elettromagneti. Circuiti magnetici.
Campi elettrici e magnetici dipendenti dal tempo.
Legge dell'induzione elettromagnetica. Induttanze e cenni ai circuiti RLC. Equazioni di Maxwell.
Onde elettromagnetiche nel vuoto e nella materia.
Riflessione e rifrazione. Concetto di fotone.
Ottica ondulatoria.
Interferenza. Diffrazione. Potere risolutore di uno strumento ottico. Polarizzazione della luce nei cristalli. Prisma di Nicol e lamina a quarto d'onda.
Termodinamica.
Termodinamica classica. Temperatura e calore. Primo principio, secondo principio e entropia. Elementi di statistica. Distribuzioni di Boltzmann, Maxwell, Bose–Einstein. Corpo nero, Legge di Stefan–Boltzmann.
Discussione microscopica di dia-, para-, ferro-, antiferro- e ferri-magnetismo.

ESERCITAZIONI
In aula: esercizi applicativi sul programma in corso.
Esercitazioni di laboratorio: implicano l'uso di strumenti elettrici, misure di indici di rifrazione col metodo dell'angolo di deviazione minima, determinazione di lunghezze d'onda col reticolo di diffrazione, misure di diffusività termiche nei solidi.

BIBLIOGRAFIA
M. Alonso, E.J. Finn, *Elementi di fisica per l'università. Vol. 1 e 2*, Masson, Milano, 1982.
D.E. Roller, R. Blum, *Fisica. Parti I e II*, Zanichelli, Bologna, 1984.
G. Boato, *Termodinamica*, Ambrosiana, Milano, 1987.
M.W. Zemansky, M.M. Abbott, H.C. Van Ness, *Calore e termodinamica per ingegneri*, Zanichelli, Bologna, 1979.
E. Amaldi, R. Bizzarri, G. Pizzella, *Fisica generale : elettromagnetismo, relatività, ottica.*

L 0234 Analisi matematica 3

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 40 esercitazioni 10 (settimanali 8/2)

Prof. Giancarlo Teppati (Matematica)

Scopo del corso è quello di familiarizzare lo studente con alcune tecniche matematiche avanzate di uso frequente nell'ingegneria; in particolare l'analisi complessa e le trasformate di Fourier e di Laplace.

REQUISITI. *Analisi matematica 2.*

PROGRAMMA

Funzioni analitiche:

- Derivabilità, condizioni di Cauchy–Riemann, integrabilità.
- Teorema di Cauchy, teorema dei residui, calcolo del residuo in singolarità polari, calcolo di integrali con il metodo dei residui, lemma del grande cerchio e di Jordan.
- Formule integrali di Cauchy.
- Sviluppabilità in serie di Taylor.
- Principi di identità.
- Comportamento locale: sviluppi di Laurent, classificazione delle singolarità isolate.
- Punto all'infinito e piano di Gauss.
- Alcuni tipi di comportamento globale: funzioni intere, teorema di Liouville; funzioni meromorfe.
- Calcolo dei coefficienti nella decomposizione in fratti semplici.
- Funzioni analitiche e funzioni armoniche. Teorema della media di Gauss.
- Trasformazioni analitiche di regioni piane.

Funzioni trascedenti non elementari.

Concetti introduttivi sulle trasformate integrali:

- Introduzione alla trasformazione e antitrasformazione di Fourier; proprietà di simmetria.
- Proprietà delle trasformate di Fourier e di Laplace; linearità, coniugazione complessa, cambio di scala, traslazione temporale, traslazione frequenziale, derivata temporale, convoluzione frequenziale.
- Trasformate di Fourier di funzioni reali, immaginarie, pari e dispari, trasformate di Fourier di funzioni periodiche.
- Distribuzioni a crescita lenta e trasformate di Fourier.
- Trasformate e antitrasformate fondamentali di Laplace di funzioni e di distribuzioni.

BIBLIOGRAFIA

G. Teppati, *Complementi di matematica, Vol. 1 e 2*, Levrotto & Bella, Torino, 1981-2.

L 0494 Calcolo delle probabilità

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 30 esercitazioni 15

Prof. Franco Piazzese (Matematica)

REQUISITI. *Analisi matematica 1 e 2.*

PROGRAMMA
Teoria delle probabilità: eventi numerabili; spazio campione; gli assiomi della probabilità; criteri di assegnazione delle probabilità. Probabilità congiunte e condizionate; indipendenza statistica.
Teoria della probabilità: continuo di eventi; variabili casuali, densità di probabilità; momenti; densità di probabilità congiunte; correlazione e indipendenza statistica.
Distribuzioni e loro proprietà generali; distribuzioni notevoli.
Trasformazioni di variabili casuali.
Serie formali e funzione caratteristica.
La diseguaglianza di Chebysceff; il teorema del limite centrale. Convergenza in misura di probabilità.
Introduzione ai processi stocastici: modelli di processi stocastici.
Introduzione ai problemi di statistica e applicazioni: metodi Monte Carlo.

BIBLIOGRAFIA
A. Papoulis, *Probabilità, variabili aleatorie e processi stocastici*, Boringhieri, Torino, 1973.

L 1441 Dispositivi elettronici 1

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

Prof. Carlo Naldi, Prof. Ivo Montrosset (Elettronica)

Il corso è fondamentale per l'orientamento materiali e tecnologie dei componenti elettronici. Partendo dai concetti fondamentali della fisica dei solidi, si ricavano le principali caratteristiche dei materiali semiconduttori. Successivamente vengono descritti i più importanti dispositivi a semiconduttore per sistemi elettronici e si forniscono nozioni di base sulla tecnologia dei circuiti integrati.

PROGRAMMA
Cenni di fisica dei solidi: equazione Schrödinger, barriera di potenziale: effetto *tunnel*; struttura cristallina, legami covalenti; semiconduttori IV e III-V gruppo.
Fenomeni di trasporto: teoria delle bande di energia nei cristalli; fenomeni di generazione e ricombinazione; meccanismo della conduzione, concetti di massa efficace e di fonone. Funzione distribuzione degli elettroni. Resistori reali. Tecnologia del *film* sottile e del *film* spesso, circuiti ibridi.
Teoria elementare dei semiconduttori: semiconduttore intrinseco e semiconduttori drogati; fenomeno di diffusione. Equazione di continuità.
Tecnologia dei circuiti integrati: circuiti integrati ibridi: substrati, componenti passivi. Tecnologia planare: fasi del processo. Crescita del monocristallo (metodo Czochralski). Ossidazione, litografia, attacco chimico. Impiantazione ionica, diffusione e solubilità dei droganti. Processi CVD: crescita epitassiale, deposizione di polisilicio e di ossidi. Deposizione di strati metallici. Cenni sulla tecnologia dell'arse-

niuro di gallio. Interconnessioni metalliche, elettromigrazione, *packaging* e *testing*. Resistori integrati.
Giunzione metallo–semiconduttore: barriera di Schottky; capacità differenziale.
Tecnica di misura C(V) dei profili di drogaggio; diodo Schottky e contatti ohmici.
Giunzione *p-n*: giunzione all'equilibrio, capacità di transizione; correnti nel diodo; diodo reale: effetto della temperatura. Tecnologia dei diodi integrati: isole, defocalizzazione della corrente, strato sepolto. Comportamento dinamico del diodo: modello a controllo di carica. Fenomeni di rottura: effetto Zener, effetto valanga. Diodi Zener e diodi *tunnel*.
Transistore a effetto di campo a giunzione.
Transistore bipolare: effetto transistore; regioni di funzionamento; modelli di Ebers–Moll e modelli SPICE. Effetto Early. Tempi di commutazione, modello a controllo di carica. Effetto della resistenza distribuita di base. *Breakdown* a valanga e perforazione diretta. Tecnologia dei transistori integrati: transistore planare *npn*; per applicazioni analogiche e digitali; transistore parassita, transistori *pnp*. Modello di processo; transistore Schottky e isolamento a ossido.
MOSFET: diodo MIS: inversione di popolazione, tensione di soglia di diodi ideali e reali. Modelli analitici dei MOS. MOS ad arricchimento e a svuotamento. Tecniche per il controllo della tensione di soglia. Tecnologia *metal gate* e *silicon-gate* (NMOS). FET di potenza: VMOS, EXFET.
Tecnologia VLSI. Ciclo di progetto dei circuiti integrati: livelli di astrazione. Metodologie di progetto VLSI: *full custom, standard cell, gate array*. Tecniche di scalamento e limiti di integrazione. Interfaccia progettista–fabbrica: regole di progetto. Invertitori.
Cenni sull'affidabilità dei componenti.

BIBLIOGRAFIA
S.M.Sze, *Dispositivi a semiconduttore*, Hoepli, Milano.
R.S. Muller, T.I. Kamins, *Dispositivi elettronici*, 2. ed., Bollati–Boringhieri, Torino, 1993.
Tabelle e grafici dei materiali e componenti per l'elettronica, CELID, 1991.

L 3214 Meccanica applicata alle macchine

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 30 esercitazioni 20

Prof. Terenziano Raparelli, Prof. Carlo Ferraresi (Meccanica)

Scopo del corso è fornire gli strumenti necessari per la conoscenza, l'identificazione e la modellazione dei componenti e dei sistemi meccanici, nonché la relativa terminologia. Le considerazioni teoriche di base della meccanica trovano un riscontro applicativo su sistemi reali largamente impiegati.

PROGRAMMA
Richiami di cinematica piana: cinematica del punto; cinematica del corpo rigido; cinematica dei moti relativi.
Accoppiamenti tra corpi rigidi: coppie cinematiche; accoppiamenti di forza.
Dinamica: forze e momenti; equazioni cardinali della dinamica; lavoro ed energia; impulso, quantità di moto e momento della quantità di moto.
Attrito: attrito secco; attrito volvente.
Componenti meccanici ad attrito: contatti estesi, ipotesi dell'usura; freni; frizioni.
Sistemi di trasformazione e trasmissione del moto: meccanismi; ruote di frizione; ruote dentate; rotismi; flessibili; vite–madrevite.

Transitori nei sistemi meccanici: accoppiamento motore–carico diretto, con riduttore di velocità e con innesto a frizione; sistemi a regime periodico.
Vibrazioni lineari a un grado di libertà: vibrazioni libere; vibrazioni forzate.

BIBLIOGRAFIA
C. Ferraresi, T. Raparelli, *Appunti di meccanica applicata*, CLUT, Torino, 1992.
J.L. Meriam, L.G. Kraige, *Engineering mechanics. Vol. 1-2, SI version*, Wiley, New York, 1987.
G. Jacazio, B. Piombo, *Esercizi di meccanica applicata*, Levrotto & Bella, Torino, 1983.

L 5954 Termodinamica applicata

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 2:2 Impegno (ore): lezioni 25 esercitazioni 25 (settimanali 4/4)

Prof. Carla Lombardi, *altro Docente da nominare* (Energetica)

Durante il corso viene ripresa la teoria della termodinamica classica sviluppata in *Fisica 2* per vederne l'applicazione allo studio ed all'ottimizzazione delle conversioni di energia. Vengono inoltre riesaminati i fenomeni di trasporto del calore allo scopo di fornire gli strumenti idonei per affrontare problemi di scambio termico. Particolare riferimento viene fatto a problemi connessi con lo smaltimento del calore da componenti elettronici.

REQUISITI. *Fisica 2*

PROGRAMMA
Fenomeni di trasporto: leggi della conduzione, della convezione e della radiazione termica.
Problemi di conduzione stazionaria: soluzioni analitiche, modelli analogici, modelli numerici.
Problemi di conduzione non stazionaria: alcune soluzioni analitiche.
Cenni di moto dei fluidi reali.
Scambio termico per convezione naturale o forzata: valutazione del coefficiente di scambio.
Proprietà radiative delle superfici. Scambio termico tra corpi neri e grigi: fattori di forma, reti resistive equivalenti.
Esempi applicativi: corpi con generazione interna di calore, superfici alettate.
Richiami di termodinamica classica: grandezze termodinamiche, stati di equilibrio, trasformazioni, primo e secondo principio.
Generalizzazione del primo principio.
Analisi termodinamica dei processi: lavoro utile ideale e reale, lavoro perduto. Exergia e rendimento exergetico.
Conversione diretta dell'energia: fenomeni termoelettrici, celle a combustibile, dispositivi termoionici. Generatori e refrigeratori termoelettrici.

ESERCITAZIONI
Esercizi applicativi su tutti gli argomenti del corso ed in particolare: calcolo distribuzione temperatura entro una cartella elettronica, calcolo alette di raffreddamento, progetto di un refrigeratore termoelettrico.

BIBLIOGRAFIA
C. Boffa, P. Gregorio, *Elementi di fisica tecnica. Vol. 2*, Levrotto & Bella, Torino, 1976.
A. Cavallini, L. Mattarolo, *Termodinamica applicata*, CLEUP, Padova, 1988.
P. Gregorio, *Esercizi di fisica tecnica*, Levrotto & Bella, Torino, 1990.

L 0510 Calcolo numerico

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

Prof. Giovanni Monegato, Prof. Paola Baratella (Matematica)

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

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

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

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

L 5770 Teoria dei circuiti elettronici

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

Prof. Claudio Beccari, Prof. Pierluigi Civera (Elettronica)

Questo corso si propone come interfaccia fra i corsi di *Elettrotecnica* e di *Dispositivi elettronici* da una parte e il corso di *Elettronica applicata* dall'altra. Esso inizia con il passaggio logico dal modello fisico dei componenti a quello elettrico per piccolo segnale; il corso si dedica all'analisi ed al progetto di circuiti elettronici attivi destinati all'elaborazione del piccolo segnale. Viene data adeguata importanza ai mezzi di analisi e progetto assistiti da calcolatore, curando che gli studenti ne acquisiscano anche un'esperienza pratica, esercitandosi con programmi quali, ad esempio, SPICE.

PROGRAMMA
Richiami sui componenti elettronici (diodi, transistori a giunzione, ad effetto di campo, ...) per quel che concerne le caratteristiche tensione–corrente alle porte.
Polarizzazione e modelli per piccolo segnale; circuiti equivalenti, limiti di validità dei modelli; idealizzazione dei modelli fino all'amplificatore operazionale.
Circuiti elementari contenenti dispositivi attivi; le tre configurazioni principali: emettitore/*source* comune, base/*gate* comune, collettore/*drain* comune; loro caratteristiche.
Parametri degli amplificatori: R_i, R_o, guadagno, larghezza di banda.
Primi semplici applicazioni dell'OA: amplificatore invertente, non invertente e *voltage follower*, sommatore, integratore, derivatore; i quattro tipi di amplificatore.
Metodi di analisi dei circuiti contenenti generatori comandati e amplificatori operazionali; metodi specifici e metodi generali. Analisi assistita da elaboratore. Descrizione delle caratteristiche di programmi di analisi quali lo SPICE.
Funzioni di rete: impedenze e funzioni di trasferimento.
Caratteristiche generali delle funzioni di rete; vincoli imposti dalla stabilità e/o passività; zeri e poli, vari criteri di stabilità.
Sintesi elementare di bipoli LC e RC.
Reazione: stabilità dei circuiti con retroazione; influenza della retroazione delle caratteristiche degli amplificatori (guadagno, larghezza di banda, impedenze d'entrata e d'uscita). Analisi della stabilità dei circuiti con reazione: diagrammi di Nyquist, di Bode, luogo delle radici.
Cenni agli oscillatori (sinusoidali) ed alla loro stabilità in ampiezza e in frequenza.
Elaborazione del segnale analogico; filtri ideali nel dominio della frequenza o nel dominio del tempo.
Approssimazione delle caratteristiche filtranti: Butterworth, Chebyshev, Bessel; trasformazioni di frequenza; cataloghi dei filtri precalcolati.
Filtri RC attivi realizzati mediante celle di secondo ordine in cascata.
Sensibilità dei circuiti.

ESERCITAZIONI. Le esercitazioni in aula hanno lo scopo principale di portare gli studenti ad un buon grado di abilità nell'analisi dei circuiti.

BIBLIOGRAFIA
M. Biey, *Circuiti RC attivi : teoria e progetto*, CLUT, Torino, 1991.
C. Beccari, *Sintesi dei circuiti passivi*, CLUT, Torino, 1988.
J. Millman, A. Grabel, *Microelectronics*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1987.
L.J. Savant, M.S. Roden, G.L. Carpenter, *Electronic design : circuits and systems*, Benjamin-Cummings, Redwood City, 1991.

L 5800 Teoria dei segnali

Anno:periodo 3:1 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 30 laboratori 12 (settimanali 6/2/2)

Prof. Letizia Lo Presti (Elettronica)

Questo 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, nonché i principi delle tecniche di trattamento ed elaborazione dei segnali utilizzate negli insegnamenti successivi.

PROGRAMMA

Teoria dei segnali determinati a tempo continuo: la rappresentazione geometrica dei segnali.

Analisi tempo-frequenza: *a)* segnali ad energia finita (spettro di ampiezza e di energia e funzione di autocorrelazione); *b)* segnali periodici (spettro a righe); *c)* segnali a potenza media finita (spettro di potenza e funzione di autocorrelazione).

Sistemi lineari a tempo continuo: risposta all'impulso, funzione di trasferimento, relazioni ingresso–uscita nel dominio del tempo e della frequenza, condizioni di fisica realizzabilità e stabilità.

Modulazione e demodulazione di ampiezza, come proprietà della trasformata di Fourier.

Valutazione numerica della trasformata di Fourier (teoria della DFT e FFT).

Teoria dei segnali determinati a tempo discreto: la trasformata z, la trasformata di Fourier e la trasformata discreta di Fourier.

Sistemi lineari a tempo discreto: risposta all'impulso, funzione di trasferimento, convoluzione lineare e convoluzione circolare, cenni sui filtri numerici (FIR e IIR).

Segnali analogici campionati: il teorema del campionamento, il filtro *anti-aliasing*, approssimazioni realizzabili del processo di campionamento e ricostruzione.

Introduzione alla teoria della simulazione: il teorema della simulazione, la trasformata bilineare.

Introduzione ai processi casuali: definizioni, statistica del primo e del secondo ordine (media, autocorrelazione e densità di probabilità).

Processi stazionari e ciclostazionari e stazionarizzazione dei processi ciclostazionari.

Processi gaussiani. Introduzione ai processi di Markov.

Trasformazione di processi casuali: integrazione, derivazione, trasformazioni lineari e invarianti.

Teoria dell'ergodicità.

Analisi spettrale. Stima spettrale mediante tecniche numeriche (periodogramma e metodo di Welch). Il rumore bianco e il rumore filtrato. Lo spettro di un processo modulato in ampiezza.

BIBLIOGRAFIA

L. Lo Presti, F. Neri, *L'analisi dei segnali*, CLUT, 1991.
L. Lo Presti, F. Neri, *Introduzione ai processi cauali*, CLUT, 1992.
W.A. Gardner, *Introduction to random processes*, McGraw-Hill, 1990.
A. Papoulis, *Probabilità, variabili aleatorie e processi stocastici*, Boringhieri, 1973.

L 5811 Teoria dei sistemi (continui)

Anno:periodo 3:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2 laboratori 2

Prof. Mario Milanese (Automatica e informatica)

Le finalità del corso sono: impostare 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 e identificazione deterministica dei sistemi ad un ingresso ed una uscita.

REQUISITI. *Analisi matematica 3, Geometria, Fondamenti di informatica.*

PROGRAMMA
Presentazione di esempi che introducono le problematiche sviluppate.
Definizione teorica di sistema; rappresentazione con equazioni differenziali e alle differenze, rappresentazione di Lagrange per sistemi lineari.
Stabilità secondo Lyapunov, linearizzazione, stabilità in grande.
Controllabilità, forma canonica di Kalman.
Posizionamento dei poli per controreazione.
Osservabilità, sistemi duali, osservatore asintotico degli stati.
Regolatore.
Funzione di trasferimento, risposta in frequenza, algebra dei blocchi.
Discretizzazione di sistemi continui.
Identificazione a partire da misure ingresso–uscita.

ESERCITAZIONI E LABORATORI
Le esercitazioni consistono essenzialmente nello sviluppo di esercizi applicativi della teoria e nella preparazione del materiale per gli esempi di sistemi sviluppate nei laboratori. L'attività di laboratorio prevede lo sviluppo di un esempio applicativo in tutte le sue fasi: modellizzazione, simulazione, validazione, progetto del regolatore, verifica del progetto.

BIBLIOGRAFIA
Rinaldi, *Teoria dei sistemi*, Hoepli.
Milanese, *Appunti del corso*, CELID.

L 0531 Campi elettromagnetici 1

Anno:periodo 3:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 4

Prof. Renato Orta (Elettronica)

Il corso ha lo scopo di fornire le basi teoriche per la comprensione dei fenomeni di propagazione libera e guidata di onde elettromagnetiche. Dopo aver risolto il problema generale dell'irradiazione, vengono analizzati i tipi più semplici di antenne. Per quanto riguarda la propagazione guidata, viene discusso il formalismo delle linee di trasmissione equivalenti e sono illustrati i tipi più comuni di guide d'onda, da quelle metalliche a quelle dielettriche (fibre ottiche).

PROGRAMMA

Generalità.

Spettro elettromagnetico e sua utilizzazione. Equazioni di Maxwell e d'onda, nel dominio del tempo e della frequenza, onde piane e teoremi generali.

Soluzione delle equazioni di Maxwell in un mezzo omogeneo.

Problema omogeneo: onde piane, polarizzazione, relazione di impedenza. Problema non omogeneo: funzione di trasferimento nello spazio k; funzione di Green come risposta all'impulso del sistema elettromagnetico. Soluzione nello spazio r come convoluzione.

Antenne.

Definizione parametri caratteristici: guadagno, direttività, area equivalente EIRP, altezza efficace, impedenza di ingresso. Equazione della trasmissione e del radar. Antenne filari, ad apertura e a riflettore.

Propagazione guidata.

Circuiti a parametri distribuiti: modello fenomenologico di linea di trasmissione, equazioni delle linee nel dominio del tempo e della frequenza e loro soluzione. Analisi di circuiti. Concetto di adattamento a una singola frequenza e a larga banda. Uso della matrice *scattering* per caratterizzare componenti per alte frequenze.

Analisi di linee nel dominio del tempo: linee dispersive chiuse su carichi adattati. Velocità di gruppo e condizioni di non distorsione. Analisi di distorsione di impulsi e banda stretta. Linee non dispersive chiuse su carichi disadattati non dispersivi.

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

Generalità su guide d'onda. Equazioni d'onda. Modi TM, TE, TEM, ibridi e loro proprietà. Linee modali, costanti di propagazione e impedenze modali, autofunzioni modali.

Esempi di guide d'onda per microonde. Guida metallica rettangolare e cavo coassiale. Microstriscia, *stripline*.

Guide dielettriche. Strutture dielettriche stratificate e guida planare. Fibre ottiche, generalità.

BIBLIOGRAFIA

R. Graglia, P. Petrini, *Appunti dal corso di campi elettromagnetici*, CELID.
F. Canavero, I. Montrosset, R. Orta, *Linee di trasmissione*, Levrotto & Bella.
E. Verduci, *Appunti sull'irradiazione*, CELID.
G. Franceschetti, *Campi elettromagnetici*, Boringhieri, Torino, 1983.
P. Savi, G. Vecchi, *Campi elettromagnetici : testi d'esame svolti*, CLUT.

L 1710 Elettronica applicata

Anno:periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 44 laboratori 12 (settimanali 6/4)

Prof. Vincenzo Pozzolo, Prof. Franco Maddaleno (Elettronica)

Il corso si prefigge di ampliare la formazione dello studente per quanto riguarda l'elettronica circuitale, sia nel campo analogico che logico. Viene posta particolare enfasi alla parte di metodologia di progetto di circuiti evidenziando le varie fasi che permettono di passare dalle specifiche di un circuito alla sua realizzazione reale. Sono previste verifiche sia su calcolatore (PSPICE) che in laboratorio.

REQUISITI. Per una proficua frequenza gli studenti devono aver seguito con impegno i corsi di *Teoria dei circuiti elettronici*, *Dispositivi elettronici* ed *Elettrotecnica*.

PROGRAMMA
Circuiti digitali.
Definizione di porta logica e parametri caratteristiche (livelli, soglie, transcaratteristica, ritardi, caratteristiche di ingresso e di uscita, prodotto velocità–potenza, immunità a disturbi). Circuiti elementari di porte logiche (bipolari saturate e non, CMOS). *Flip–flop* e circuiti di memoria. Logiche programmabili.
Circuiti analogici.
Amplificatori operazionali non ideali (*offset, derive, slew-rate*, dinamica). Circuiti elementari di amplificatori (specchi di corrente, differenziale, riferimenti di tensione). Tecniche di realizzazione di amplificatori operazionali bipolari e MOS. Circuiti speciali con operazionali. Uso dell'operazione fuori linearità. Generatori di forme d'onda non sinusoidali. Amplificatori di potenza, SOA, resistenza termiche e dissipatori. Alimentatori lineari e a commutazione.
Elettronica di interfaccia.
Circuiti di acquisizione dati. Condizionamento di segnale, *multiplexer, sample and hold*. Convertitori A/D e D/A.

BIBLIOGRAFIA
S. Franco, *Design with operational amplifiers and analog integrated circuits*, McGraw-Hill, New York, 1988.
Millman, Grabel, *Microelectronics*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1987.
V. Pozzolo, *Caratteristiche di componenti elettronici*, CELID, Torino.
Indicazioni bibliografiche di articoli e testi di consultazione verranno fornite durante il corso.

L 5011 Sistemi informativi 1

Anno:periodo 3:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2 laboratori 2

Prof. Silvano Rivoira, Prof. Aldo Laurentini (Automatica e informatica)

Il corso ha lo scopo di illustrare alcuni aspetti architetturali dei sistemi di elaborazione (quali le strutture interne di un calcolatore e le modalità di connessione di più calcolatori) nonché di approfondire lo studio delle metodologie di programmazione, delle strutture dati e degli algoritmi fondamentali.

REQUISITI. *Fondamenti di informatica.*

PROGRAMMA
Architettura e linguaggio macchina di un sistema di elaborazione basato su microprocessori.
Caratteristiche dei linguaggi *assembler*.
Architetture delle reti di calcolatori e protocolli di comunicazione.
Il linguaggio C.
Algoritmi di ordinamento interno.
Algoritmi di ricerca.
Algoritmi operanti su liste, alberi e grafi.

ESERCITAZIONI
Realizzazione degli algoritmi esaminati nei linguaggi C ed *assembler*. Esercitazioni su elaboratori del tipo *personal computer* o elaboratori della classe VAX.

BIBLIOGRAFIA
B.W. Keminghan, D.M. Ritchie, *The C programming language*, 2nd ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1988.
A.M. Tannenbaum; Y. Langaam, M.J. Augenstein, *Data structures using C*, Prentice-Hall, 1990.
C. Morgan, M. Waite, *Il manuale 8086/8088*, McGraw-Hill, 1987.
F. Halsall, *Introduction to data communications and computer networks*, Addison Wesley, 1985.

L 5012 Sistemi informativi 2

Anno:periodo 3,4,5:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 4 laboratori 2

Prof. Angelo Serra (Automatica e informatica)

Il corso si prefigge di fornire informazioni approfondite sull'architettura dei sistemi di elaborazione, sull'organizzazione del *software*, con particolare riferimento al sistema operativo ed alle basi di dati, e di introdurre le problematiche relative al progetto dei sistemi informativi aziendali.

REQUISITI. *Sistemi informativi 1.*

PROGRAMMA

1. *Architettura.*
   Complementi di architettura, linguaggio macchina e assembler di un sistema di elaborazione della serie Intel 80x86.
   Gestione dei periferici: interruzione e accesso diretto in memoria (DMA).
   Supporti *hardware* per la gestione del sistema operativo: gestione della memoria, protezione delle informazioni.
   Cenno alle architettura di tipo DSP per l'elaborazione numerica dei segnali ed alle loro applicazioni nel campo delle telecomunicazioni.
2. *Sistema operativo.*
   (Con particolare riferimento alla macchina virtuale usata dallo sviluppatore di programmi sequenziali o concorrenti in linguaggio C sotto UNIX e/o VMS).
   Cenni sulla struttura interna di un sistema operativo.
   Processi sequenziali, concorrenti, primitive di sincronizzazione fra processi.
   Gestione di risorse critiche.
   Gestione della memoria.
   Gestione dei *file*.
3. *Basi di dati e cenni di ingegneria del* software.
   La rappresentazione concettuale dei dati: modello E–R per i dati e analisi funzionale per l'analisi della applicazioni sui medesimi.
   Il modello relazionale dei dati: l'algebra relazionale; il calcolo relazionale sui domini e sulle tuple; il linguaggio SQL; il progetto delle relazioni; teoria della normalizzazione.
   Sistemi di basi di dati (DBMS).
   La gestione delle basi di dati.
   La gestione delle transazioni.
   Il trattamento della concorrenza.
   Analisi di un DBMS relazionale e sue applicazioni a progetti di semplici sistemi informativi.
   Progettazione *top-down* del *software* dal modello concettuale al programma C – *embedded* SQL.
   Il ciclo di vita del software e cenno ai modelli e agli strumenti CASE per l'automazione di alcune fasi della produzione manutenzione del software.
4. *Linguaggio Fortran.*

ESERCITAZIONI E LABORATORI. Esercitazioni su elaboratori del tipo *personal computer* o minielaboratori UNIX o VAX.

BIBLIOGRAFIA

Batini, Ceri, Navathe, *Conceptual database design*, Benjamin-Cummings, 1992.
J. Date, *An introduction to database systems*, 5th ed., Addison-Wesley, 1990.
Tesato, Zicari, *Sistemi operativi 2*, CLUP, Milano, 1988.
Il testo sull'architettura verrà indicato all'inizio del corso.

L 5812 Teoria dei sistemi (discreti)

Anno:periodo 3:2 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 56 (settimanali 6/4)

Prof. Antonio Tornambè (Automatica e informatica)

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base per l'analisi di sistemi dinamici ad eventi discreti (a tempo discreto e a tempo continuo).

PROGRAMMA
Grafi ed alcuni algoritmi.
Spazi di probabilità ad eventi discreti.
Elementi di base sulle equazioni differenziali e alle differenze.
La trasformazione z.
La trasformazione di Laplace.
Alcuni elementi di algebra moderna.
Teoria degli automi deterministici: un approccio elementare.
Teoria degli automi deterministici: un approccio algebrico.
Teoria degli automi non deterministici: un approccio elementare.
Le catene di Markov.
Teoria delle code.
Reti di code.

L 0270 Antenne

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 80 laboratori 8 (settimanali 6)

Prof. Mario Orefice (Elettronica)

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 lezioni ed esercitazione.

REQUISITI. Esame propedeutico è *Campi elettromagnetici e circuiti*; è inoltre utile la conoscenza delle tecniche di programmazione su calcolatori (Fortran) per lo svolgimento di lavori individuali o di gruppo.

PROGRAMMA
Concetti fondamentali sull'irradiazione e nozioni generali sulle antenne.
Irradiazione da antenne ad apertura. Trattazione di problemi elettromagnetici con metodi quasi ottici. Metodi di calcolo del campo diffratto: metodo delle aperture, metodo dell'ottica fisica.
Analisi e progetto di vari tipi di antenne: trombe, paraboloidi, Cassegrain. Antenne a fascio sagomato, lenti. Antenne per telecomunicazioni e per applicazioni aerospaziali.
Teoria geometrica della diffrazione e sue applicazioni. Antenne ad onda progressiva: antenne *surface wave* e *leaky wave*.
Irradiazione da antenne filiformi: 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: 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: guadagno, diagramma di irradiazione. Misure di fase, di polarizzazione e di impedenza. Varie tecniche di misura in campo lontano e in campo vicino.

BIBLIOGRAFIA
Appunti raccolti sotto forma di dispense.
Sono inoltre di utile consultazione i seguenti testi:
Jasik, Johnson, *Antenna engineering handbook*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1984.
A. Rudge [et al.], *The handbook of antenna design*, 2 vol., 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.

L 0770 Componenti e circuiti ottici

Anno:periodo 4,5:1 Impegno (ore): lezioni 80 (settimanali 8)

Prof. Renato Orta (Elettronica)

Il corso intende sviluppare argomenti legati allo studio e alla progettazione di componenti e dispositivi utilizzati nelle comunicazioni ottiche. L'approccio seguito è di tipo metodologico. Vengono discussi i principali metodi analitici e numerici impiegati nella simulazione dei circuiti ottici.

PROGRAMMA

Guide d'onda a sezione trasversale non omogenea, formulazione di Marcuvitz–Schwinger. Determinazione delle autofunzioni modali a partire dalle componenti longitudinali. Proprietà di biortogonalità delle autofunzioni, calcolo dell'eccitazione dei modi. Analisi dei mezzi dielettrici isotropi stratificati con la tecnica delle linee modali vettoriali.

Propagazione di un campo specificato su un'apertura. Approssimazione di Fresnel a partire dalle rappresentazioni spettrale e spaziale. Fasci gaussiani, propagazione e interazione con strutture dielettriche stratificate. Ottica geometrica, caustiche e teoria geometrica della diffrazione, lenti e specchi. Formalismo ABCD, guide a lenti. Risonatori chiusi e aperti.

Guida dielettrica planare, analisi con risonanza trasversale. Modi guidati e irradiati, onde *leaky*. Applicazioni: accoppiatori a prisma, strati $\lambda/4$ antiriflesso, strati ad alta riflettività. Interferometri Fabry–Perot con dielettrico passivo e attivo. Strutture dielettriche stratificate periodiche, curve di dispersione. Riflettori di Bragg, birifrangenza di forma, teorema di Floquet. Linee non uniformi per studio di guide planari diffuse, metodi numerici e analitici (profilo lineare). Metodo WKB e "metodo della funzione di confronto". Guide dielettriche tridimensionali: metodo dell'indice di rifrazione efficace e *beam propagation method.*

Mezzi anisotropi omogenei, superficie normale, ellissoide indice. Analisi di mezzi anisotropi stratificati, formalismo 4x4.

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

Teoria dell'accoppiamento modale. Effetto elettro-ottico e acusto-ottico. Analisi di dispositivi ottico-integrati.

L 1531 Economia ed organizzazione aziendale 1

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 26 (settimanali 6/2)

Prof. Luigi Buzzacchi (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienza)

Il corso si propone di descrivere e modellizzare il contesto economico in cui opera l'impresa, affrontando poi le moderne teorie che ne stilizzano il comportamento.

REQUISITI. Gli strumenti di base dell'algebra e del calcolo differenziale ed i fondamenti di economia e statistica.

PROGRAMMA
Mercati, organizzazione ed informazione.
Teoria dei costi di lungo periodo, economie di scala (statiche e dinamiche), economie di multiprodotto.
Forme di mercato.
Meccanismi di regolamentazione dei mercati: introduzione alla politica industriale.
Organizzazione: meccanismi di coordinamento alternativi al mercato.
Cenni di progettazione dell'organizzazione .
Economia dell'informazione.
Teoria dell'impresa e strategic management.
Approccio manageriale, la teoria dell'agenzia e dei *property rights*.
Teoria dei costi transazionali.
Strategic management ed il paradigma struttura–condotta–*performance*.

ESERCITAZIONI
Applicazione dei metodi quantitativi alla soluzione di problemi economici.

BIBLIOGRAFIA
F. Brioschi, L. Buzzacchi, M.G. Colombo, *Gruppi di imprese e mercati finanziari*, Nuova Italia Scientifica, 1990.
S. Douma e H. Schreuder, *Economic approaches to organization*, Prentice Hall, 1991.
D. Needham, *The economics of industrial structure conduct and performance*, Holt, Rinehart and Winston, 1978.
M. Porter, *Competitive strategy*, Free Press, 1980.
P. Ravazzi, *Sistema economico e sistema d'impresa*, Nuova Italia Scientifica, 1993.
H. Varian, *Microeconomic analysis*, Norton, 1984.

L 1590 Elaborazione numerica dei segnali

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 30 (settimanali 4/2)

Prof. Ezio Biglieri (Elettronica)

Il corso si propone di fornire nozioni sui seguenti argomenti: elaborazione numerica dei segnali, con applicazione al segnale vocale e ai segnali immagine; metodi di quantizzazione.
REQUISITI. Le nozioni fornite nel corso di *Comunicazioni elettriche (speciale).*

PROGRAMMA
Segnali e sistemi discreti.
Processi casuali discreti.
Analisi spettrale di processi.
Predizione lineare.
Modelli di processi discreti.
Modelli di generazione del segnale vocale.
Quantizzazione: scalare, adattativa, predittiva, vettoriale. Tecniche ADPCM e CELP.
Segnali discreti bidimensionali e sistemi.

BIBLIOGRAFIA
A.V. Oppenheim, R.W. Schafer, *Discrete-time signal processing*, Prentice-Hall, 1989;
A. Gersho, R.M. Gray, *Vector quantization and signal compression*, Kluwer, 1991.

L 3130 Macchine elettriche

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 20 laboratori 8 (settimanali 6/2)

Prof. Aldo Boglietti (Ing. elettrica industriale)

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'automazone, Elettronica industriale di potenza.*

PROGRAMMA
Richiami sui sistemi trifase.
I circuiti magnetici lineari e non lineari.
Il trasformatore monofase e trifase.
Generalità sulle trasformazioni elettromeccaniche dell'energia.
Il motore in corrente continua: caratteristiche costruttive, modello statico e dinamico, caratteristiche elettromeccaniche stazionarie, regolazioni.
Gli avvolgimenti trifase e il campo magnetico rotante.
Il motore ad induzione: caratteristiche costruttive, modello statico, caratteristiche elettromeccaniche stazionarie, regolazioni.
La macchina sincrona: caratteristiche costruttive, modello statico, caratteristiche elettromeccaniche stazionarie, regolazione
La macchina sincrona a magneti permanenti (*brushless*): caratteristiche costruttive, modello statico, caratteristiche elettromeccaniche stazionarie regolazioni.
Il modello dinamico dei motori in corrente alternata: trasformazione trifase–bifase e trasformazione di rotazione, concatenamento dei flussi, autoe mutue induttanze, modello dinamico del motore ad induzione, modello dinamico della macchina sincrona.
I motori a passo: caratteristiche costruttive, caratteristiche elettromeccaniche, problemi di alimentazione e controllo.

ESERCITAZIONI
Sono previste esercitazioni pratiche presso il Laboratorio di enertronica e visite tecniche a ditte di produzione di macchine elettriche.

B 3300 Meccanica del volo

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 40 (settimanali 6-8/2-4)

Prof. Piero Gili (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso si propone di fornire le cognizioni fondamentali necessarie al calcolo delle caratteristiche di volo a regime, dell'autonomia, della capacità di carico, degli spazi e tempi di decollo e atterramento, della stabilità e della manovrabilità longitudinale e laterodirezionale, del volo manovrato e in raffica, nonché del comportamento in vite dei velivolo ad elica e a getto. Si danno anche alcuni cenni di meccanica del volo dell'elicottero. Si premettono alcune lezioni di statica dell'atmosfera, di aerostatica e di aerodinamica sperimentale indispensabili per una facile comprensione degli argomenti fondamentali del corso.

REQUISITI. *Aerodinamica, Meccanica applicata.*

PROGRAMMA

Atmosfera.
Troposfera e stratosfera; aria tipo internazionale; livellazione barometrica.
Aerostatica.
Aerostato ideale a volume o a peso di gas costante; conseguenza delle variazioni di Temperatura e di pressione sulla salita e discesa dell'aerostato; palloni sonda.
Aerotecnica.
Teoria di Fruode; le varie forme di resistenza; la polare aerodinamica del profilo con e senza ipersostentazione.
Prestazione dei velivoli.
Forze e momenti aerodinamici; polare del velivolo; il volo librato; spinte necessarie al volo; caratteristiche di volo del turbogetto; il velivolo ad elica, caratteristiche geometriche e aerodinamiche dell'elica; il turboelica; studio del decollo nelle tre fasi di rullaggio, manovra e salita; atterramento su ostacolo; mancato decollo; spazio e tempo di decollo dell'idrovolante; consumi di combustibile durante le operazioni di decollo e salita fino alla quota di crociera, discesa e avvicinamento; autonomie orarie e chilometriche del velivolo a getto e ad elica in aria calma, diagrammi di utilizzazione, momento di trasporto, indice di economia di trasporto, influenza del vento sull'autonomia, diverse condotte possibili di volo; lossodromie e ortodromie.
Stabilità.
Equilibrio e stabilità longitudinale a comandi liberi e bloccati del velivolo normale, tutt'ala e senza coda; momento di cerniera; effetto diedro; manovra degli alettoni, velocità angolare di rollio a regime, velocità di inversione degli alettoni; stabilità direzionale a comandi liberi e bloccati; trazione asimmetrica.
Moti non uniformi.
Volo non uniforme nel piano di simmetria; traiettorie di Lanchester; diagrammi di manovra ICAO; moti curvi del velivolo, virata piatta, virata corretta, raggio minimo di curvatura, momenti processionali d'inerzia nella virata; il volo in aria agitata; l'autorotazione e il suo studio sperimentale, la vite; condizioni di similitudine per prove su modello.
Meccanica del volo dell'elicottero.
Schema base e forze agenti, i comandi di volo, principali sistemi rotore; potenze necessarie al sostentamento, potenze disponibili, regimi di salita.

BIBLIOGRAFIA.
A. Lausetti, *L'atmosfera in quiete,* Levrotto & Bella, Torino.
A. Lausetti, F. Filippi, *Elementi di meccanica del volo,* Levrotto & Bella, Torino.
A. Lausetti, *Decollo e atterramento,* Levrotto & Bella, Torino.
A. Lausetti, *Lossodromie e ortodromie,* Levrotto & Bella, Torino
P. Gili, *Richiami di meccanica del volo degli elicotteri,* Levrotto & Bella, Torino

L 3570 Microonde

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 18 laboratori 14 (settimanali 6-8/1-2)

Prof. Gian Paolo Bava (Elettronica)

Scopo del corso è di fornire metodi di studio di componenti, dispositivi e circuiti di interesse nel campo di frequenza delle microonde, in particolare per quanto riguarda il settore delle telecomunicazioni (collegamenti e circuiti di elaborazione dei segnali in guide metalliche e dielettriche ed in strutture adatte a circuiti integrati,ecc.). Verranno anche sviluppati esempi di tecniche di progetto di componenti e circuiti; la scelta degli argomenti specifici potrà cambiare secondo gli interessi che via via si manifesteranno.

PROGRAMMA
Analisi generale dei fenomeni di propagazione elettromagnetica guidata.
Eccitazione ed accoppiamento dei modi; guide con due modi e relative applicazioni. Strutture guidanti periodiche. Onde di carica spaziale, tubi speciali per microonde e loro evoluzione. Esempi vari di componenti e loro utilizzazioni.
Analisi di componenti e circuiti di particolare interesse; accoppiatori direzionali, filtri, circolatori, ecc. Effetto dei disadattamenti nei collegamenti. Considerazioni e schemi sistemistici; esempi. Analisi generale degli effetti dei tempi di transito nei dispositivi per l'elaborazione dei segnali; limitazioni fisiche di base. Strutture attive.
Risonatori elettromagnetici: cavità metalliche e loro proprietà; limitazioni. Risonatori aperti e dielettrici; risonatori Fabry–Perot generalizzati. Rappresentazioni circuitali; cenni sui filtri distribuiti.
Dispositivi a stato solido avanzati di uso nel campo delle microonde e delle onde millimetriche; dispositivi basati su fenomeni quantici (*tunneling* risonante, giunzioni Josephson, ecc.). Maser paramagnetici e dispositivi basati su fenomeni parametrici; caratteristiche ed interessi applicativi, stabilità e rumore negli oscillatori.

ESERCITAZIONI. Esercitazioni sperimentali con squadre relativamente piccole, su argomenti trattati nel corso. Eventuali visite a laboratori di ricerca ed industriali.

BIBLIOGRAFIA. Sono disponibili appunti (quasi completi) delle lezioni.

L 3670 Misure elettroniche

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 20 laboratori 40 (settimanali 4/2/4)

Prof. Andrea De Marchi, Prof. Sigfrido Leschiutta (Elettronica)

Il corso si propone di fornire le basi della teoria delle misure e di illustrare i principali metodi di misura delle grandezze elettriche e di quelle, come il tempo e la frequenza, che sono di interesse nei vari settori dell'ingegneria elettronica. Si descrivono inoltre i principi di funzionamento, le caratteristiche essenziali e l'uso degli strumenti elettronici più diffusi. Si descriverà brevemente l'interfaccia standard (IEC 625 o IEEE 488) per la gestione di sistemi di misura mediante calcolatore.

PROGRAMMA
Definizione di una misura e suo schema logico.
Sistema Internazionale di unità di misura. Campioni di riferimento.
Incertezza in una misura e cause che la determinano. Trattamento dei dati sperimentali e valutazione della qualità di una misura.
Strumenti e metodi per la misura di tensioni, correnti continue e resistenze, l'amperometro ed il voltmetro analogici, il *tester*, la conversione analogico–digitale ed il voltmetro numerico. Strumenti e metodi per la misura di tensioni e correnti alternate.
L'oscilloscopio a raggi catodici: analogico, a memoria e persistenza variabile, campionatore e a memoria digitale.
Strumenti e metodi per la misura di frequenza, differenza di fase e di intervalli di tempo.
Misure di impedenza con metodi a ponte in BF e RF; metodi volt-amperometrici (impedenzimetro vettoriale).
Misure di potenza.
Generatori di segnali sinusoidali, di forme d'onda, sintetizzati.
Sistemi di acquisizione dati. Cenni sull'interfaccia standard IEC 625 / IEEE 488: caratteristiche essenziali, il *bus* del sistema, indirizzamenti.

ESERCITAZIONI. Le esercitazioni di laboratorio verteranno su argomenti specifici trattati nel corso e saranno svolte a gruppi di 4 allievi.

BIBLIOGRAFIA
P. Kantrowitz, G. Kousourou, L. Zucker, *Electronic measurements*, Prentice-Hall.
G. Gregoretti, *Appunti di misure elettroniche*, CELID, Torino.
E. Arri, S. Sartori, *Le misure di grandezze fisiche*, Paravia.
G. Gregoretti, U. Pisani, *Esercitazioni di misure elettroniche. 1. Ciclo*, CELID.
U. Pisani, *Esercitazioni di misure elettroniche, 2. Ciclo*, CELID.
S. Leschiutta, U. Pisani, *Complementi di misure elettroniche*, CLUT.
A. De Marchi, L. Lo Presti, *Incertezze di misura, statistica e processi casuali*, CLUT, Torino.

L 3800 Modellistica e identificazione

Anno:periodo 4,5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2

Prof. Vito Mauro (Automatica e informatica)

Il corso intende fornire gli strumenti per l'analisi sperimentale dei modelli dei sistemi di controllo e delle serie storiche di dati. A questo scopo viene data particolare rilevanza alle tecniche matematiche e statistiche di base e vengono da queste derivati i metodi e gli algoritmi di uso più frequente. L'approfondimento matematico-statistico permette un approccio unificato ai problemi e un'analisi critica dei metodi proposti.
Nel laboratorio gli studenti possono verificare, mediante simulazioni all'elaboratore, le proprietà delle soluzioni.

PROGRAMMA
Presentazione del problema dell'analisi delle serie storiche e dei modelli.
La necessità dei modelli espliciti; le cause di errore, i criteri di approssimazione, il principio di parsimonia.
Analisi di problemi deterministici.
Problemi di minimo in spazi di Hilbert; il teorema della proiezione, l'ortogonalità, procedura di Grahm–Schmidt, proprietà strutturali della soluzione. Impostazione recursiva. Applicazione a modelli lineari; minimi quadrati, regressioni, pseudoinverse, filtri esponenziali e simili. Problemi numerici, fattorizzazioni.
Il problema della stima e la soluzione di massima verosimiglianza.
Modelli lineari e/o gaussiani: riduzione a un problema in spazi di Hilbert. Il problema della validazione e dei test sulle ipotesi.
Applicazione a modelli stocastici lineari e discreti.
Stima dello stato: il filtro di Kalmann. Soluzione di problemi riconducibili alla stima dello stato. La predizione dello stato e problemi riconducibili; predizione e stima su modelli ARMA e derivati. Problemi numerici.
Applicazione all'identificazione.
I modelli ARMA e derivati; il modello dei disturbi algoritmi risolutivi. I modelli discreti in generale; il filtro di Kalmann esteso. Problemi numerici e applicativi.
I processi stocastici.
Richiami delle definizioni di base. Spettri di potenza e funzioni di autocorrelazione; loro stime. Richiami sulle trasformate discrete. Applicazioni all'identificazione di modelli in frequenza. Fattorizzazione di un processo stocastico, il processo innovazione; analisi comparata di filtri di Wiener e di Kalmann.
Considerazioni conclusive sul principio di parsimonia.
Esempi sull'influenza dell'ordine del modello; metodi di analisi dell'ordine utile. Cenni sull'identificabilità strutturale.

BIBLIOGRAFIA
G. Menga, *Appunti di modellistica e identificazione*, CELID, Torino.
Appunti distribuiti a lezione.
Bittanti, Guardabassi, *Sistemi incerti*, CLUP, Milano.

F 4530 Reti di telecomunicazioni

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 96 esercitazioni 25 (settimanali 8/2)

Prof. Marco Ajmone Marsan (Elettronica)

Nel corso vengono studiate le reti di telecomunicazioni per trasmissione dati, con particolare riferimento alle sottoreti di comunicazione delle reti di calcolatori.
Dopo un primo esame dei diversi tipi di rete e dei problemi loco connessi, vengono presentati elementi di teoria delle code e di teoria delle reti di Petri, utili per la descrizione, per l'analisi delle prestazioni e per il progetto di una rete. Vengono quindi studiate le reti a commutazione di pacchetto, sia per ciò che concerne la loro organizzazione, sia per gli aspetti di progetto, sia dal punto di vista dell'architettura dei protocolli.

REQUISITI. *Comunicazioni elettriche.*

PROGRAMMA

1. *Reti di telecomunicazione.*
   Introduzione e definizioni. Distinzione tra funzione di trasmissione e di commutazione. Commutazione di circuito, di messaggio e di pacchetto. Protocolli di comunicazione. Tipi di reti e problemi connessi con il loro progetto e con la loro analisi.
2. *Teoria delle code.*
   Richiami della teoria dei processi stocastici discreti con particolare riferimento ai processi markoviani e semi-markoviani. Code con tempi tra gli arrivi e durata dei servizi distribuiti esponenzialmente. Code con tempi di servizio con distribuzione generale. Formule di Erlang e misura del traffico. Reti di code aperte e chiuse. Teorema di BCMP.
3. *Reti di Petri.*
   Definizioni fondamentali. Insieme e grafo di raggiungibilità. Invarianti. Reti di Petri stocastiche. Isomorfismo con processi markoviani. Reti di Petri stocastiche generalizzate.
4. *Reti a commutazione di pacchetto.*
   Introduzione e definizioni. Ritardo medio. Problemi di progetto e variabili associate. Protocolli. Architettura OSI. Il livello fisico. Il livello *data link*: protocolli a finestra, HDLC. Il livello *network*: circuiti virtuali e *datagram*; tecniche di instradamento e di controllo di flusso; X.25. Il livello *transport*: indirizzamento; *gateways*. Protocolli di accesso a canale comune. Reti via satellite: FDMA; FTDMA; ALOHA; slotted ALOHA; protocolli con prenotazione. Reti *packet radio*: CSMA-CD e protocolli *token*; Ethernet; *token ring* IBM, FDDI; protocolli per *bus* unidirezionali; DQDB, CRMA, CRMA.II. Protocolli per la risoluzione delle collisioni. Tecniche di *polling*. Esempi di reti.

BIBLIOGRAFIA

L. Kleinrock, *Queueing systems. Vol. 1, Theory*, Wiley, 1975.
M. Decina, A. Roveri, *Code e traffico nelle reti di comunicazione. Parte I., Teoria delle code*, Goliardica, 1978.
M. Schwartz, *Computer communication network design and analysis*, Prentice-Hall, 1977.
A.S. Tannenbaum, *Computer networks*, Prentice-Hall, 1977.
G. Le Moli, *Telematica : architettura, protocolli e servizi*, ISEDI, Mondadori, 1983.
L. Lenzini, C. Boreggi, *Reti per dati*, SARIN, Marsilio, 1984.
D. Bertsekas, R. Gallager, *Data networks*, Prentice-Hall, 1987.

L 4540 Reti logiche

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 90 esercitazioni 60 (settimanali 6/4)

Prof. Luigi Gilli (Automatica e informatica)

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 apprendere l'uso di strumenti di verifica di progetto, ormai di uso corrente nei sistemi di ausilio alla progettazione elettronica (CAE). Sono anche previste esercitazioni sull'uso di linguaggi descrittivi del tipo VHDL.

PROGRAMMA
Richiami di algebra booleana. Funzioni booleane e loro minimizzazione.
Reti combinatorie: analisi di reti combinatorie; comportamento dinamico delle reti combinatorie. Sintesi delle reti combinatorie.
Reti sequenziali: analisi delle reti sequenziali; reti asincrone e sincrone; comportamento dinamico delle reti sequenziali; sintesi delle reti asincrone; sintesi delle reti sincrone, con particolare riferimento alle reti sincronizzate.
Collaudo e diagnostica delle reti logiche: problematiche generali del collaudo; modelli di guasto; generazione delle prove di collaudo per le reti combinatorie; estensione al caso delle reti sequenziali asincrone; la diagnostica e il progetto per la collaudabilità; la simulazione e la simulazione dei guasti; le macchine di collaudo.
Progetto formale di sistemi di elaborazione: organizzazione generale di un sistema di elaborazione; l'unità operativa l'unità di controllo, l'unità di ingresso–uscita; l'unità dei registri e la memoria centrale; esempio di progetto di un piccolo elaboratore.
Sistemi a microprocessore: struttura generale dei sistemi a 8 bit. Il microprocessore Intel 8085, schema a blocchi, modalità di funzionamento, *set* di istruzioni, temporizzazione. Descrizione delle interfacce periferiche 8251, 8253, 8255, 8257, 8259.

ESERCITAZIONI
Analisi e sintesi di circuiti combinatori. Analisi e sintesi di circuiti sequenziali. Progetto formale, linguaggi di descrizione e simulazione. Generazione di prove di collaudo per semplici reti logiche. Progetto di piccoli sistemi a microprocessore e stesura dei relativi programmi *assembler*.

BIBLIOGRAFIA
L. Gilli, *Elementi di reti logiche. 1., Reti combinatorie*, CUSL.
L. Gilli, *Elementi di reti logiche. 2., Reti sequenziali*, CUSL.
L. Gilli, *Collaudo e diagnostica dei circuiti digitali*, CUSL.
L. Gilli, *Progetto formale di sistemi di elaborazione, sistema a microprocessore 8085*, CUSL.

L 4550 Ricerca operativa

Anno:periodo 4,5:1 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 26 (settimanali 6/2)

Prof. Roberto Tadei (Automatica e informatica)

Il corso ha l'obiettivo di dotare lo studente di adeguati strumenti per modellare e risolvere una serie di problemi propri dell'ingegneria elettronica, informatica e automatica, quali: *circuits design, signal trasmission, computer vision, faults diagnosis, sequencing and scheduling, computational complexity analysis*, etc..
La modellazione del problema consiste nella sua formulazione in termini di programmazione matematica, mentre la sua risoluzione richiede l'utilizzo di algoritmi, alcuni appartenenti ad una bibliografia ormai consolidata, altri frutto di ricerche in corso.

REQUISITI. *Analisi matematica 2.*

PROGRAMMA
Programmazione lineare.
Formulazione del problema. Soluzioni di base. Teorema fondamentale della programmazione lineare. Metodo del simplesso. Teoria della dualità. Metodo del simplesso duale. Analisi di sensitività.
Programmazione combinatoria: problemi polinomiali.
Matroidi e algoritmo Greedy. Intersezione di matroidi. Polimatroidi, accoppiamenti e algoritmi casuali.
Programmazione combinatoria: problemi NP-difficili.
Algoritmi di enumerazione implicita. Algoritmi poliedrali. Algoritmi approssimati ed euristici.
Programmazione non lineare.
Formulazione del problema. Condizioni di ottimalità per problemi non vincolati e vincolati. Algoritmi per problemi non vincolati e vincolati.
Programmazione dinamica.
Formulazione del problema. Principio di ottimalità di Bellman. Problemi non vincolati e vincolati.

BIBLIOGRAFIA
M. Gondran, M. Minoux, *Graphs and algorithms*, Wiley, 1984.
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.
M. Minoux, *Mathematical programming : theory and algorithms*, Wiley, 1986.

F 6040 Trasmissione numerica

Anno:periodo 4:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 40 (settimanali 6/2)

Prof. Sergio Benedetto (Elettronica)

Il corso studia i sistemi di trasmissione numerica punto-punto, offrendo metodi per l'analisi ed il progetto di tali sistemi. L'impostazione metodologica, di carattere generale, consente di utilizzare i metodi studiati nelle diverse applicazioni sistemistiche: trasmissione di dati su linea telefonica, su ponte radio, via cavo e via satellite.

REQUISITI. Teoria della probabilità, variabili e processi casuali, elementi di modulazioni numeriche.

PROGRAMMA
Trasmissione di forme d'onda su canale gaussiano additivo; metodi di modulazione coerenti e incoerenti.
Codici di canale: codici a blocco rivelatori e correttori di errore; codici convoluzionali.
Trasmissione numerica su canali reali: calcolo della probabilità di errore in presenza di interferenza intersimbolica.
L'equalizzazione adattativa.
La modulazione codificata.
Cenni alla trasmissione numerica su fibra ottica.

ESERCITAZIONI.
Esercitazioni di calcolo da svolgere a casa e in aula su argomenti del corso.

BIBLIOGRAFIA
S. Benedetto, E. Biglieri, V. Castellani, *Digital transmission theory*, Prentice Hall, 1987 (ed. italiana: *Teoria della trasmissione numerica*, Jackson, 1990).

L 0801 Comunicazioni elettriche (generale)

Anno:periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 66 esercitazioni 44 (settimanali 6/4)

Prof. Guido Albertengo (Elettronica)

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 additivo. Dopo aver esaminato i tradizionali sistemi di trasmissione analogici, vengono analizzati i sistemi di trasmissione numerica ed il sistema di codifica PCM di segnali analogici.

PROGRAMMA
La propagazione delle onde elettromagnetiche.
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.
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.
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.
La trasmissione del segnale numerico in banda traslata. Modulazioni numeriche di ampiezza e fase. Prestazioni in presenza di rumore gaussiano additivo.
Il teorema del campionamento e sue applicazioni. Quantizzazione e rappresentazione dei campioni in forma numerica. Il sistema PCM e le sue prestazioni.
LIBRI DI TESTO
L.W. Couch II, *Digital and analog communication systems*, 3rd ed., McMillan.

L 0802 Comunicazioni elettriche (speciale)

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

Prof. Valentino Castellani (Elettronica)

Il corso si propone di fornire allo studente la preparazione di base per quanto riguarda i concetti e le tecniche fondamentali della trasmissione dell'informazione e della struttura delle reti di telecomunicazioni.
I contenuti sono propedeutici ai successivi corsi più specialistici del settore delle telecomunicazioni.

REQUISITI. *Teoria dei segnali.*

PROGRAMMA
Sorgenti di informazione e loro discretizzazione. Modello del sistema di trasmissione dell'informazione.
La misura della informazione e la codificazione della sorgente. Modello del canale di trasmissione e definizione della sua capacità.
Equivocazione e probabilità di errore. Il canale gaussiano additivo bianco.
Il rumore elettrico. Modelli di canale rumoroso. Il canale hertziano.
La modulazione di tipo numerico. Richiami alle nozioni già svolte ed inquadramento del problema geometrico sullo spazio dei segnali.
Le modulazioni coerenti senza memoria con M segnali. Le modulazioni ASK, PSK, FSK, QAM ed AM-PM. Confronto tra i vari sistemi di modulazione.
Cenni alla ricezione incoerente di segnali con modulazione numerica.
Calcolo delle prestazioni del ricevitore in presenza di distorsioni del canale di trasmissione.
Il PCM. Descrizione generale e calcolo delle prestazioni. Compressione del segnale e sovraccarico.
Tecniche di multiplazione nel dominio del tempo. Sistemi TDM e gerarchie numeriche.
Applicazioni della modulazione analogica di ampiezza. La conversione di frequenza.
Tecniche di multiplazione nel dominio della frequenza. Sistemi FDM.
Cenni sulla modulazione analogica di frequenza.
Descrizione generale della rete telefonica: topologie di rete, tecniche di commutazione, servizi. Cenni alle previste evoluzioni della telefonia.
Le reti di dati: modello di riferimento ISO/OSI, commutazione di pacchetto, architetture di protocolli, servizi.

BIBLIOGRAFIA
E. Biglieri, S. Benedetto, V. Castellani, *Digital transmission theory*, Prentice Hall, 1987 (il testo è disponibile anche in traduzione italiana, nelle edizioni Jackson).

L 0841 Controlli automatici (generale)

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

Prof. Enrico Canuto (Elettronica)

Il corso si propone di offrire agli allievi i rudimenti per l'analisi e la sintesi di sistemi di comando automatico, con particolare attenzione ai problemi di asservimento e regolazione di congegni industriali e alla sintesi digitale dei comandi.

PROGRAMMA
Nozioni introduttive.
I problemi del comando automatico. Struttura di un sistema a comando automatico. Esempi di automatismi industriali.
Modelli matematici di sistemi dinamici - Analisi.
Grandezze fisiche variabili e loro formulazione mediante segnali temporali. Relazioni matematiche tra grandezze: equazioni di stato. Proprietà globali delle equazioni di stato: stabilità, comportamento in regime permanente, caratteri del transitorio.
Modelli matematici di sistemi dinamici - Sintesi.
Introduzione alla scrittura di equazioni di stato per dispositivi industriali. Valutazione delle approssimazioni di modello.
Sistemi di comando automatico - I principi.
Specifiche: precisione, prontezza. Struttura: comando nominale e sua correzione mediante retroazione (servocomando). Errori di asservimento: comportamento in regime permanente, caratteri del transitorio. Stabilità di sistemi dinamici–lineari con retroazione: criterio di Nyquist. Stabilizzabilità mediante retroazione degli stati. Osservatori e predittori degli stati.
Sistemi di comando automatico - I componenti.
Attuatori: servomotori elettrici, amplificatori elettrici di potenza (cenni). Trasduttori: caratteristiche generali.
Sistemi di comando automatico - Introduzione alla sintesi.
Comando analogico e digitale. Obiettivi e passi della sintesi delle regole di comando. Sintesi di regolatori lineari analogici: regolatori PID. Sintesi di comandi digitali: risoluzioni delle misure e dei comandi, predittore degli stati e sua sintesi, coordinamento tra regolatore e predittore. Cenni alla realizzazione di dispositivi di comando.

ESERCITAZIONI
Verrà sviluppata con l'ausilio dell'elaboratore numerico l'analisi e la sintesi di semplici regolatori per automatismi industriali.

BIBLIOGRAFIA
E. Canuto, *Introduzione ai sistemi di controllo* (appunti).
G.F. Pranklin [et al.], *Digital control of dynamic systems*, Addison Wesley.

L 0842 Controlli automatici (speciale)

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

Prof. Giuseppe Menga (Automatica e informatica)

Le finalità del corso sono il progetto del controllo mediante controreazione di sistemi dinamici lineari continui ed a dati campionati. Per questo il corso presuppone una conoscenza della modellistica dei sistemi dinamici con esempi nei principali campi applicativi (sistemi elettrici ed elettronici, meccanici, idraulici, termici, ecc.) acquisita nel corso di teoria dei sistemi od in corsi equivalenti.
Il corso esamina il problema del controllo di sistemi dinamici nei suoi diversi aspetti: modello e sue approssimazioni, segnali di comando, variabili di uscita (da controllare), disturbi, precisione della risposta e sensitività alle incertezze. Vengono definite le specifiche e sviluppate le tecniche di progetto di controlli in catena chiusa con particolare riferimento ai sistemi lineari con una variabile di ingresso e di uscita. Vengono introdotti elementi di strumentazione per l'automazione.
Il corso si articola in lezioni, esercitazioni in aula ed esercitazioni su calcolatore incentrate sull'uso di simulazioni numeriche e programmi di progettazione assistita. È inoltre raccomandata la realizzazione di lavori di gruppo nel laboratorio sperimentale.

REQUISITI. *Teoria dei sistemi (continui).*

PROGRAMMA
Presentazione del problema del controllo.
Studio di sistemi dinamici di controllo tratti da problemi di automazione industriale e controllo di processi. Introduzione alla strumentazione per il controllo (trasduttori ed attuatori).
Sviluppo delle tecniche matematiche di analisi della stabilità di sistemi dinamici in presenza di controreazione (catena chiusa).
Definizione delle specifiche di sistemi controllati.
Progetto del controllo con metodi di sintesi per tentativi e metodi di sintesi diretta (assistita da calcolatore) per sistemi continui ed a dati campionati.
Realizzazione dei regolatori nella forma di filtri analogici o filtri digitali.

ESERCITAZIONI E LABORATORI
Familiarizzazione con le tecniche di progetto di sistemi di controllo ed impostazione di problemi da svilupparsi su calcolatore. Utilizzo di programmi di simulazione e di programmi di progetto assistito da calcolatore. Disponibilità di un laboratorio sperimentale con esempi di controlli semplici sistemi meccanici, idraulici, termici, ecc.

BIBLIOGRAFIA
A. Isidori, *Sistemi di controllo*, Siderea, Roma.
G. Fiorio Belletti, *Controlli automatici*, CLUT, Torino

L 1442 Dispositivi elettronici 2

Anno:periodo 4,5:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 8

Prof. Carlo Naldi (Elettronica)

Non è possibile descrivere l'intera gamma dei dispositivi a semiconduttore; si cerca tuttavia, oltre a includere i più importanti tra essi, specie nel campo delle alte frequenze per telecomunicazioni, di presentarne lo studio in modo sistematico e unitario al fine di suggerire una metodologia per la comprensione di altri dispositivi non esaminati. Di ogni dispositivo si studiano le principali applicazioni.

PROGRAMMA

Cenni di meccanica quantistica. Equivalenza pacchetto d'onde – particella. Distribuzioni di Maxwell, di Bose–Einstein e di Fermi–Dirac. Hamiltoniana del sistema. Emissione e assorbimento.

Elettrone in un reticolo. Relazione di dispersione. Teorema di Bloch. Modello di Kronig–Penney. Semiconduttori III-V, II-IV.

Fenomeni di trasporto. Condizioni di non equilibrio. Collisioni con impurità ionizzate e con vibrazioni reticolari. Fononi acustici e ottici. Interazione elettrone–fonone.

Dispositivi a effetto di volume: diodi Gunn. Mobilità differenziale negativa. Operazioni con circuito risonante. Tecniche di progetto di oscillatori a resistenza negativa.

Tecnologia dell'arseniuro di gallio. Crescita monocristallina. Semi-isolante (compensazione dislocazioni–carbonio). Tecniche epitassiali: LPE, MOCVD, MBE. Impiantistica ionica.

Fenomeni di *breakdown* e dispositivi a valanga e tempo di transito. Diodi IMPATT.

Fenomeni di generazione–ricombinazione. Centri di ricombinazione; teoria SRH.

Dispositivi optoelettronici. Diodi a emissione di luce (LED). Celle solari: al silicio, a eterogiunzione, Schottky, con concentrazione e con *spectral splitting*. Fotorivelatori: fotoconduttore, fotodiodi. *Laser* a omostruttura e a eterostruttura: SH e DH, a striscia, a reazione distribuita.

Modelli matematici dei dispositivi. Modello stazionario continuità - Poisson. Equazione di Boltzmann. Modelli non stazionari: equazioni dell'energia e del momento. Tecniche Montecarlo. Principi generali sul rumore nei dispositivi.

MESFET all'arseniuro di gallio. Amplificatori di basso rumore e di potenza, oscillatori, mescolatori. Circuiti integrati Monolitici (MMIC). Tecnologie epitassiali e per impiantazione.

Dispositivi a super-reticolo: *multi-quantum well* e modulazione del drogaggio; HEMT, pseudomorfici; transistori bipolari a eterogiunzione HBT. Dispositivi a *tunneling* risonante.

BIBLIOGRAFIA

Michael Shur, *Physics of semiconductor devices*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990.

L 1532 Economia ed organizzazione aziendale 2

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

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

Il corso, cui è propedeutico *Economia ed organizzazione aziendale 1*, approfondisce alcune tematiche specifiche relative alla gestione aziendale sia sia strategica che operativa.

PROGRAMMA
Contabilità generale e bilancio.
Contabilità analitica e *budget*.
Analisi degli investimenti.
Analisi previsionale.
Gestione delle scorte.

ESERCITAZIONI
Applicazione dei metodi quantitativi alla soluzione di problemi gestionali.

L 1730 Elettronica dei sistemi digitali

Anno:periodo 4,5:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 10 laboratori 10 (settimanali 4/2/2)

Prof. Eros Pasero (Elettronica)

Il corso si propone di fornire le nozioni necessarie per progettare un sistema digitale da un punto di vista elettronico. I problemi relativi al buon funzionamento di un progetto digitale non coinvolgono infatti solo la parte puramente logica, ma anche gli aspetti più propriamente elettronici, quali l'interfacciamento dei componenti, il corretto dimensionamento delle piste di alimentazione, il giusto dimensionamento delle terminazioni delle linee, il rumore presente sulle schede e così via. L'obiettivo del corso è quello di mettere in grado lo studente di progettare sistemi digitali avanzati (CPU di tipo DSP, RISC, memorie veloci, ecc.) su piastra, basati sulle tecnologie più aggiornate.

PROGRAMMA
La prima parte di questo corso è dedicata allo studio dei componenti digitali sotto l'aspetto dei parametri elettronici per studiarne il comportamento nei sistemi più complessi. Lo studio della teoria delle linee applicata ai circuiti stampati, problematiche dei circuiti di alimentazione, il rumore saranno gli elementi sviluppati.
La seconda parte del corso è dedicata alla progettazione di sistemi digitali ad alte prestazioni, in cui componenti sofisticati (memorie ad alta velocità, convertitori A/D D/A ad alta velocità, controllori di *bus* dedicati ecc.) vengono gestiti da CPU veloci (DSP, RISC, microcontrollori). Le nozioni acquisite nella prima parte del corso verranno qui utilizzate per progettare sistemi digitali ad elevata complessità.
L'ultima parte del corso introduce gli aspetti più avanzati dei sistemi digitali: le architetture parallele. Una breve prospettiva di quelle che sono attualmente i sistemi paralleli in uso verrà affrontata dal punto di vista del progettista elettronico: problemi elettrici

dei *bus* e dei *link* seriali porteranno a considerare di volta in volta quali sono le difficoltà della progettazione di questi sistemi.

LABORATORI. Gli allievi potranno verificare le nozioni apprese su piastre sperimentali Motorola e Texas Instruments.

BIBLIOGRAFIA
J.D. Nicoud, *Circuits numériques pour interfaces microprocesseur*, Masson, 1991 (di prossima pubblicazione in italiano).
D. Del Corso, H. Kirmann, J.D. Nicoud, *Microcomputer buses and links*, Academic Press, 1986 (di prossima pubblicazione in italiano).
Horowitz, Hill, *The art of electronics*, Cambridge Univ. Press, 1989.
H. Haznedar, *Digital microelectronics*, Benjamin-Cummings, 1991.

L 1740 Elettronica delle telecomunicazioni

Anno:periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 64 esercitazioni 14 laboratori 42 (settimanali 5/1/3)

Prof. Dante Del Corso (Elettronica)

Il corso è dedicato allo studio ed al progetto dei circuiti elettronici usati specificamente nei sistemi di telecomunicazione. Sono esaminate in dettaglio alcune unità funzionali, delle quali si analizzano il comportamento esterno (specifiche), e le diverse realizzazioni circuitali utilizzando varie tecniche (componenti discreti, circuiti integrati *standard*, integrazione di sottosistemi completi).

REQUISITI. *Teoria dei circuiti elettronici, Elettronica applicata, Comunicazioni elettriche.*

PROGRAMMA
Transistori fuori linearità, limitatori, moltiplicatori di frequenza.
Amplificatori per ampio segnale, a larga banda ed accordati.
Oscillatori sinusoidali.
Filtri attivi con amplificatori operazionali.
Circuiti con funzione di trasferimento non-lineare basati su amplificatori operazionali.
Integrazioni di circuiti analogici.
Anelli ad aggancio di fase.
Conversione analogico/digitale (A/D) e digitale/analogico (D/A). Circuiti campionatori.
Convertitori A/D e D/A per uso telefonico. Convertitori logaritmici, differenziali a sovracampionamento.
Cenni su modulatori e demodulatori per informazioni numeriche (*modem*).
Realizzazione di piccoli sistemi digitali con logiche programmabili.
Strutture per trasferimenti di informazione di tipo parallelo e seriale, sincrone ed asincrone. Tecniche e circuiti di sincronizzazione per trasmissione seriale. *Standard* di collegamento seriale.

ESERCITAZIONE
Progetto di circuiti, con uso delle specifiche dei componenti. Calcolo degli errori. Uso di tabelle. Uso di strumenti CAD.
LABORATORI
Montaggi e misure su alcuni dei circuiti progettati. Relazioni scritte obbligatorie.

BIBLIOGRAFIA
D. Del Corso, *Elettronica per telecomunicazioni*, Levrotto & Bella, Torino, 1988.
Clark, Hesse, *Communication circuits analysis and design*, Addison Wesley, 1971.
M. Gardner, *Phase lock techniques*, Wiley, 1979.
D. Del Corso, H. Kirmann, J.D. Nicoud, *Microcomputer buses and links*, Academic Press, 1986. (Ed. italiana: Addison Wesley, Masson, 1992).
S. Franco, *Amplificatori operazionali e circuiti integrati analogici*, Hoepli, 1992.

N 2941 Ingegneria del software 1

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

Prof. Giorgio Bruno (Automatica e informatica)

Il corso presenta i principi, i metodi e gli strumenti principali della moderna ingegneria del *software*. I temi centrali del corso sono il paradigma ad oggetti (esteso alla progettazione e alla specifica del *software*) e lo sviluppo del *software* mediante modelli grafici, rigorosi ed eseguibili. Nell'ambito delle esercitazioni verrà illustrato il linguaggio C++. A completamento del corso alcuni esempi presentano l'ingegnerizzazione di sistemi *software* complessi.

PROGRAMMA
Modelli del ciclo di vita del software.
Paradigma strutturato. Analisi funzionale: tecniche SADT/IDEF e *data flow*. Analisi dei dati: tecnica *entity–relationship*. Progetto strutturato delle funzioni: tecnica di *structured design*. Dall'analisi strutturata al progetto strutturato. Analisi comportamentale: automi a stati finiti. Estensioni al paradigma strutturato per il tempo reale: tecniche di Ward–Mellor e Hatley–Pirbhai.
Paradigma ad oggetti; programmazione ad oggetti: C++ ed Eiffel. Progetto ad oggetti: tecniche di Booch e Hood. Analisi ad oggetti: tecniche di Rumbaugh, Coad–Yourdon e Shlaer–Mellor.
Reti di Petri. Analisi delle proprietà per alcune sottoclassi delle reti ordinarie. Reti colorate e temporizzate.
Reti ingegnerizzate e ad oggetti: linguaggio grafico Protob.
Sviluppo del software *mediante modelli*: modelli di sistema e di *software*. Simulazione delle specifiche e generazione automatica del codice per sistemi distribuiti.
Strumenti CASE.
Qualità del software.
Esempi relativi a: sistemi di produzione, sistemi *real-time*, sistemi di telecomunicazione, sistemi informativi distribuiti.

BIBLIOGRAFIA. È in preparazione un libro che contiene il materiale del corso.

N 3460 Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo

Anno:periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 72 esercitazioni 20 (settimanali 6/2)

Prof. Giovanni Fiorio (Autòmatica e informatica)

L'insegnamento è rivolto in generale a tutti gli allievi che desiderano approfondire la loro conoscenza in problemi di ottimizzazione di sistemi dinamici. La trattazione viene svolta per sistemi dinamici a tempo sia discreto, sia continuo. Il problema del controllo ottimo viene esteso ai sistemi a grandi dimensioni per i quali è conveniente operare un controllo decentralizzato e gerarchicamente coordinato, con applicazione ai sistemi di produzione e a rete in generale.

PROGRAMMA.

1. I problemi di ottimizzazione nell'ambito della professione dell'ingegnere. Metodi di ottimizzazione nell'ingegneria del controllo e della pianificazione.
2. Ottimizzazione in spazi euclidei. Ottimizzazione senza vincoli, e con vincoli di uguaglianza e di disuguaglianza. Applicazione a sistemi di controllo in regime stazionario con indici di costo e con vincoli di vario tipo.
3. Il controllo ottimo in catena aperta per sistemi dinamici retti da equazioni di stato di forma generica e con indici di costo pure di forma generica. Formulazione del problema nella versione a tempo sia discreto, sia continuo. Il principio del massimo. Applicazioni a sistemi dinamici con indici di costo quadratico.
4. La programmazione dinamica. Introduzione tramite problemi di percorso. Suoi legami con il principio del massimo. Applicazioni a problemi di controllo.
5. Il controllo in catena chiusa per sistemi lineari in regime dinamico con indici di costo quadratico. L'equazione matriciale differenziale di Riccati e sua versione algebrica. Applicazioni a specifici casi concreti.
6. Il controllo ottimo di sistemi a grandi dimensioni. Criteri di decomposizione e di coordinamento. Applicazione ai sistemi di produzione.

BIBLIOGRAFIA. Sono a disposizione appunti del corso scritti dal docente, che indicano anche riferimenti bibliografici.

L 3870 Optoelettronica

Anno:periodo 4,5:2 Impegno (ore settimanali): lezioni 8

Prof. Ivo Montrosset (Elettronica)

In questi ultimi anni un crescente sviluppo hanno avuto le tecniche ottiche di trasmissione dell'informazione e di elaborazione dei segnali. Nell'ambito del corso vengono presentati dispositivi e sistemi optoelettronici utilizzati nelle trasmissioni in fibra ottica e nell'elaborazione ottica dei segnali.

PROGRAMMA

Dispositivi e sistemi per la trasmissione in fibra ottica.

Introduzione ai materiali ed alle tecnologie per l'optoelettronica e l'ottica integrata. Caratteristiche dei materiali dielettrici e semiconduttori: iniezione portatori, pompaggio ottico, guadagno, assorbimento, effetto elettro ed acusto-ottico, nonlinearità.
Cenni sulle guide dielettriche: guide planari per componenti optoelettronici integrati, proprietà trasmissive ed effetti non lineari in fibra ottica.
Laser a semiconduttore: equazioni di bilancio, caratteristiche statiche, monomodalità, modulazione, larghezza riga in strutture DBR e DFB, strutture multisezione per il controllo spettro e accordabilità, effetti nonlineari (bistabilità e conversione di frequenza).
Altri dispositivi e sistemi optoelettronici: amplificatori, modulatori, filtri, commutatori, fotodiodi, micro-ottica, etc.
Elaborazione ottica di immagini ed interconnessioni ottiche.
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 nonlineari: fotorifrazione, mescolazione a 2 e 4 onde, coniugazione di fase, applicazioni.

LABORATORIO
Verrà mostrata l'utilizzazione di strumentazione ottica per la caratterizzazione di alcuni componenti, quali laser e modulatori elettro-ottici.

N 4520 Reti di calcolatori

Anno:periodo 4:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 30 (settimanali 5/2)

Prof. Luigi Ciminiera (Automatica e informatica)

Il corso ha lo scopo di analizzare le architetture, i protocolli e i servizi nelle reti di calcolatori. Verranno esaminate sia le soluzioni basate sull'uso delle 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.

PROGRAMMA
Inizialmente verranno fornite nozioni sulla nomenclatura, i vari tipi di reti di calcolatori, e verrà esaminato il modello di riferimento ISO–OSI quale strumento per la descrizione delle architetture di protocolli. In seguito verranno esaminati i protocolli relativi ai livelli: fisico, *data-link*, rete, trasporto, sessione, presentazione e applicazione. Verranno illustrati sia i protocolli ISO per ciascuno di questi livelli, sia quelli relativi all'architettura DoD.
Nell'ambito del corso verranno anche fatti dei cenni al ISDN.

ESERCITAZIONI.
Nel corso delle esercitazioni verranno svolti progetti relativi alla realizzazione di semplici protocolli per reti di calcolatori, facendo anche uso di strumenti per l'ausilio alla progettazione basati su tecniche di descrizione formale.

BIBLIOGRAFIA
Andrew S. Tannenbaum, *Computer networks*, 2nd ed., Prentice-Hall, 1988.
Fred Halsall, *Data communications, computer networks and OSI*, 3rd ed., Addison-Wesley, 1991.

L 0300 Architetture dei sistemi integrati

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

Prof. Pierluigi Civera (Elettronica)

Il corso si inquadra nell'ambito di un *curriculum* di studi di natura circuitale e verterà principalmente sullo studio, analisi e definizione di architetture di sistemi integrati su silicio. Verrà data particolare enfasi alla parte metodologica e allo studio di sistemi da realizzare in forma digitale. Saranno analizzate, come casi di studio, varie soluzioni architetturali, a partire da semplici architetture interne di microcontrollori fino alle soluzioni architetturali per sistemi di elaborazione complessi (ad esempio: *array processors*). Per stabilire delle forme oggettive di analisi e di sintesi si introdurrà l'uso di metriche e di strumenti di valutazione e di simulazione, che verranno impiegati durante le esercitazioni. Il corso illustrerà tecniche di partizionamento dei sistemi su più circuiti integrati (*chip set*).

PROGRAMMA

Aspetti generali e metodologici, definizione di metriche, metodi di valutazione e di sintesi.

Analisi dei requisiti funzionali, valutazione del grado di parallelismo, descrizione in forma di strutture e di gerarchie funzionali, metodi *data-flow* e *control-flow*. Analisi e caratterizzazione degli elementi base, quali blocchi funzionali, elementi di interconnessione, sezioni di interfaccia, estrazione e catalogazione di parametri architetturali di rilievo.

Tecniche di ripartizione e di *scheduling*, generazione di sotto-specifiche funzionali e di interfaccia. Tecniche sequenziali, concorrenti, e scalate temporalmente (*pipeline*) e spazialmente, regimi e protocolli sincroni ed asincroni, aree a comune regime temporale.

Strutture regolari, riprogrammabili e configurabili.

Problematica delle interconnessioni, distribuzione delle alimentazioni e delle cadenze.

Casi di studio: analisi di architetture a singolo processore (microcontrollori, processori CISC, RISC e VLIW), di architetture specifiche per un certo dominio di applicazioni (*digital signal processors*, circuiti per filtri numerici).

ESERCITAZIONI

Le esercitazioni saranno svolte in parte in aula ed in parte in laboratorio. Le esercitazioni in aula verteranno sulla valutazione ed analisi di prestazioni di soluzioni architetturali a partire dai requisiti funzionali, mediante vari criteri e fattori di merito. Le esercitazioni di laboratorio verteranno sull'impiego di strumenti CAD per il progetto di circuiti integrati.

BIBLIOGRAFIA

J.L. Hennessy, D.A. Patterson, *Computer architecture : a quantitative approach*, Morgan, Kaufman, San Mateo, 1990.

Altri testi di riferimento e di consultazione saranno indicati durante il corso.

P 0350 Automazione a fluido

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 56 laboratori 52 (settimanali 4/4)

Prof. Guido Belforte (Meccanica)

Il corso ha lo scopo di far conoscere i diversi sistemi di automazione a fluido attualmente adoperati 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, di modellazione dei sistemi pneumatici.

REQUISITI. *Meccanica applicata alle macchine.*

PROGRAMMA.
Proprietà dei sistemi pneumatici, fluidici, oleodinamici. Proprietà dei fluidi.
Unità di misura, strumenti di misura e trasduttori. Attuatori pneumatici: cilindri e relative regolazioni. Valvole pneumatiche.
Principi di algebra logica.
Elementi pneumatici logici ed elementi micropneumatici. Getti e principi di fluidica.
Elementi fluidici digitali e proporzionali. Caratteristiche di funzionamento di valvole pneumatiche e di elementi fluidici. Coefficienti di valvole.
Sistemi oleopneumatici.
Tecniche di controllo digitali: sequenziatori, contatori, programmatori a fase, microprocessori. Diagrammi funzionali: movimenti-*fsi*, *grafcet*, *gemma*.
Elementi di interfaccia, elettrovalvole e sistemi elettropneumatici. Sensori, ed elementi di fine corsa. Elementi periferici e complementari.
Modellazione e comportamento dinamico dei sistemi pneumatici, propagazione dei segnali pneumatici. Sistemi pneumatici proporzionali; posizionatori pneumatici.
Esercizio dei circuiti. Alimentazione degli impianti, trattamento dell'aria. Affidabilità, aspetti energetici, ecologici e di sicurezza.
Applicazioni: sistemi digitali con sequenziatori, controllori programmabili PLC, microprocessori.

ESERCITAZIONI.
Nelle esercitazioni (da svolgersi in laboratorio) vengono approfonditi argomenti trattati nelle lezioni, vengono impartite nozioni di base sull'uso della strumentazione adoperata nei sistemi a fluido, e vengono eseguite prove su componenti, circuiti e sistemi in modo da acquisire una conoscenza, per quanto possibile, pratica della materia.

BIBLIOGRAFIA.
Belforte, D'Alfio, *Applicazioni e prove dell'automazione a fluido,* Giorgio, Torino, 1992.
Belforte, *Pneumatica,* Tecniche nuove, Milano, 1992.
Bouteille, Belforte, *Automazione flessibile elettropneumatica e pneumatica,* Tecniche nuove, Milano, 1987.

L 0370 Automazione industriale

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 56 (settimanali 6/4)

Prof. Antonio Tornambè (Automatica e informatica)

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base per l'analisi ed il progetto di sistemi di automazione industriale (ad eventi discreti e ad eventi continui).

PROGRAMMA
Diversi tipi di automazione industriale.
Dinamica di processi discreti.
Controllo di processi discreti.
Dinamica di processi continui.
Controllo di processi continui.
Strategie di automazione.
Economia della produzione.
Sistemi di assemblaggio.
Sistemi manifatturieri flessibili.
Processi a controllo numerico.

L 0850 Controllo dei processi

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 20 laboratori 20 (settimanali 4/4)

Prof. Donato Carlucci (Automatica e informatica)

Il corso ha come obiettivo quello di preparare il futuro ingegnere alla progettazione di sistemi di controllo dei processi anche di tipo complesso quali ad esempio il traffico veicolare urbano, una rete elettrica interconnessa, un manipolatore industriale a movimento in coordinate polari, un satellite artificiale. Nel corso vengono esposte le metodologie di controllo in catena chiusa con particolare riguardo sia verso gli aspetti di incertezza sulla conoscenza del processo in esame sia verso gli aspetti di implementazione del progetto.
Il corso si articola in lezioni, esercitazioni e laboratorio incentrato su esempi di progettazione assistita da calcolatore.

REQUISITI. *Teoria dei sistemi* e *Controlli automatici.*

PROGRAMMA
Richiami sugli obiettivi del controllo ed esposizione del problema del controllo per sistemi dinamici a molti ingressi e molte uscite (multivariabili).
Descrizione delle tecniche di progetto del controllo per sistemi multivariabili nel dominio della frequenza: sistemi diagonal dominanti ed uso delle bande di Gershgorin; sistemi non dominanti ed uso del teorema di Nyquist; sistemi incerti ed uso combinato delle tecniche conosciute.
Descrizione delle tecniche di progetto del controllo per sistemi multivariabili nel dominio del tempo: tecniche di piazzamento dei poli del sistema in catena chiusa attraverso retroazione delle variabili di stato, algoritmi relativi; tecniche di piazzamento dei poli del sistema in catena chiusa attraverso la retroazione statica e dinamica dell'uscita,

algoritmi relativi; trattamento dell'incertezza e modifiche delle specifiche del controllo per tenere in conto dell'incertezza con cui è noto il processo.
Sistemi a grandi dimensioni: formulazione dei problemi di controllo e descrizione di tecniche di progetto che tengano in conto delle comunicazioni fra sottosistemi.
Controllo gerarchico. Affidabilità, valutazione dei costi *hardware* e *software*.

ESERCITAZIONI
Sono svolte in aula; in questa sede gli allievi eseguono passo per passo il lavoro di descrizione del processo, di definizione delle specifiche di progetto, di scelta di trasduttori ed attuatori, giungendo al progetto completo.
LABORATORI. Utilizzo di programmi di simulazione e di programmi di progetto assistito da calcolatore.

BIBLIOGRAFIA
Sono disponibili gli appunti del corso scritti dal docente.

B 1250 Dinamica del volo

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 20 (settimanali 4/2)

Prof. Piero Morelli (Ing. aeronautica e spaziale)

Il corso intende introdurre l'allievo alla trattazione dei problemi della dinamica del volo, con particolare riferimento ai velivoli, allo scopo di determinarne e valutarne le cosiddette "qualità di volo" e la loro dipendenza da fattori aerodinamici ed inerziali.

REQUISITI. *Aerodinamica, Meccanica del volo*, buona preparazione nell'analisi matematica e nella meccanica razionale.

PROGRAMMA
Richiami e complementi di nozioni sull'equilibrio, la stabilità statica e la manovrabilità longitudinale e latero-direzionale.
Dinamica del moto longitudinale: equazioni del moto a comandi liberi e bloccati; derivate di stabilità; risposta a manovre dell'equilibratore.
Dinamica del volo latero-direzionale: equazioni del moto a comandi bloccati; derivate di stabilità.
Stabilità e manovrabilità automatiche.
Simulatori di volo.

ESERCITAZIONI. Calcolo e rappresentazioni grafiche di caratteristiche di stabilità statica e dinamica e di manovrabilità longitudinale.

BIBLIOGRAFIA.
Etkin, *Dynamics of atmospheric flight,* Wiley.
Roskam, *Airplane design.* Part VI e VII, Roskam Corp.
Babister, *Aircraft stability and control,* Pergamon.
Dickinson, *Aircraft stability and control for pilots and engineers,* Pitman.
Lecomte, *Mécanique du vol,* Dunod.
Perkins & Hage, *Airplane performance, stability and control,* Wiley.

L 1500 Economia e gestione dei servizi

(sostituito da *M1490 : Economia dell'impresa* per l'anno 1993/94)

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 78 esercitazioni 26 (settimanali 6/2)

Prof. Luigi Buzzacchi (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

M1490 : Economia dell'impresa

Il corso si propone di modellizzare il funzionamento ed il ruolo economico dei mercati finanziari, affrontando poi le teorie che descrivono la condotta delle imprese nell'ambito di tali mercati.

REQUISITI. Gli strumenti di base dell'algebra e del calcolo differenziale ed i fondamenti di economia e statistica.

PROGRAMMA
Titoli finanziari, teoria dell'investitore e meccanismo di funzionamento dei mercati: i titoli finanziari come contratti, completi ed incompleti, valore attuale e costo opportunità del capitale, valutazione di titoli a reddito fisso e azionari, arbitraggio e valore attuale, la teoria del portafoglio, equilibrio del mercato dei capitali, microstruttura, verifiche empiriche di efficienza dei mercati, struttura per scadenza dei tassi di interesse.
I mercati di titoli derivati: contratti *forward*, contratti *futures*, opzioni e *swaps*; metodologie di copertura dei rischi valutari.
Corporate finance: decisioni di finanziamento ed emissione di titoli finanziari, la politica dei dividendi, la struttura finanziaria.
Corporate finance in un contesto di mercati imperfetti: separazione tra proprietà e controllo e problemi di agenzia, forme istituzionali ed evidenza nel caso italiano.

BIBLIOGRAFIA
R. Brealey e S. Myers, *Principi di finanza aziendale*, McGraw-Hill Italia, 1990.
J. Hull, *Options, futures and other derivative securities*, Prentice Hall, 1989.
K. Garbade, *Teoria dei mercati finanziari*, Il Mulino, 1989.

L 1530 Economia ed organizzazione aziendale

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

Prof. Luigi Prosperetti (Sistemi di produzione ed econ. dell'azienda)

Il corso, dopo alcuni richiami di microeconomia dei mercati, analizza l'azienda sotto il profilo economico (analisi dei costi, bilancio d'esercizio), gestionale (decisioni d'investimento, programmazione e controllo), organizzativo (progettazione di strutture organizzative) e strategico.

PROGRAMMA
Richiami di microeconomia matematica: costi, prezzi, forme di mercato.
Il bilancio d'esercizio: formulazione, interpretazione e analisi.
Analisi dei costi: contabilità industriale.
Programmazione e controllo di gestione.
Principi di progettazione delle strutture organizzative.

ESERCITAZIONI
Applicazione di metodi quantitativi alla soluzione di problemi gestionali e discussione di costo.

L 1760 Elettronica di potenza

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 50 esercitazioni 50 laboratori 20 (settimanali 5/5)

Prof. Franco Maddaleno (Elettronica)

Il corso ha lo scopo principale di presentare i più importanti circuiti amplificatori e alimentatori utilizzati nei sistemi elettronici di piccola potenza (< 1 kW).
La prima parte del corso riguarda l'attuazione e l'amplificazione di potenza, con particolare enfasi sulla amplificazione a bassa frequenza, usata per il comando di piccoli attuatori e trasduttori. Nella seconda parte (più ampia della prima) vengono esaminati gli alimentatori, visti dapprima come sistemi e poi in maggior dettaglio dal punto di vista circuitale. Vengono trattati i regolatori lineari, quelli a commutazione ad onda quadra (*switching*), i quasi risonanti e i risonanti. L'esposizione vuole presentare sia gli aspetti teorici (modelli dei circuiti), sia soprattutto gli aspetti progettuali e realizzativi per sistemi di potenza limitata. Il corso termina dando alcuni cenni agli amplificatori a radiofrequenza.
Le esercitazioni (non necessariamente separate dalle lezioni) riguardano il calcolo in aula di alimentatori e amplificatori e la verifica su calcolatore. Sono previste esercitazioni sperimentali e dimostrative in laboratorio.

REQUISITI. Il corso richiede la precedenza di *Elettronica applicata.*

PROGRAMMA
Amplificatori di potenza in continua e BF.
Caratteristiche generali degli alimentatori.
Alimentatori dissipativi.
Analisi di alimentatori ad onda quadra: analisi, progetto e componenti.
Alimentatori quasi risonanti.
Alimentatori risonanti.
Cenni di amplificatori di potenza RF.

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 saranno poi simulati su calcolatore. In laboratorio saranno misurate le caratteristiche di componenti, amplificatori e alimentatori.

BIBLIOGRAFIA
Il corso si basa su dispense, su articoli indicati dal docente e sui seguenti testi di consultazione:
Bloom, Severns, *Modern DC–DC switchmode power conversion circuits*, Van Nostrand Reinhold.
Mitchell, *DC–DC switching regulator analysis*, McGraw-Hill.
Kassakian, Schlecht, Verghese, *Principles of power electronics*, Addison-Wesley.
Pressman, *Switching power supply design*, McGraw-Hill, 1991.

L 1770 Elettronica industriale di potenza

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 20 laboratori 10 (settimanali 6/2)

Prof. Franco Villata (Ing. elettrica industriale)

Il corso si inquadra in un indirizzo tendente a fornire le basi per affrontare alcuni dei problemi che si presentano nel campo del comando di apparecchiature elettromeccaniche. Esso si propone di fornire la descrizione dei principali circuiti elettronici che permettono di realizzare sia le parti a livello di segnale che di potenza di più frequente impiego nell'elettronica industriale, con particolare riferimento ai convertitori statici di energia. Di ciascun circuito vengono esaminate le principali caratteristiche di funzionamento nonché i criteri di dimensionamento.

REQUISITI
Per seguire il corso sono utili gli argomenti trattati nei corsi di *Elettrotecnica 1* ed *Elettronica applicata* per gli allievi elettrotecnici, e di *Elettrotecnica* ed *Elettronica applicata* per gli allievi elettronici.

PROGRAMMA
Diodo: tipi costruttivi; modello elettrico; modello termico. Reti con diodi.
Convertitori monofasi alternata–continua, filtri: circuiti tipici di impiego e loro dimensionamento.
Diodi controllati: tipi costruttivi; modelli elettrici; principali caratteristiche fornite dal costruttore.
Convertitori alternata–continua controllati monofasi e trifasi per il comando di motori a corrente continua funzionanti nel piano coppia velocità su un quadrante, due quadranti, quattro quadranti. Dimensionamento dei componenti, delle protezioni da sovracorrenti e da sovratensioni. Commutazione, disturbi verso rete, potenza reattiva.
Struttura dei principali tipi di circuiti di regolazione e principio di funzionamento dei principali blocchi da cui sono costituiti, con particolare riguardo ai circuiti sfasatori e impulsatori, ed ai trasformatori di impulsi.
Controllo di macchine in corrente alternata di tipo sincrono e asincrono mediante convertitori controllati alternata–continua.
Trasduttori di tensione e di corrente impiegati nei convertitori controllati.

ESERCITAZIONI. Le esercitazioni vertono sul dimensionamento di convertitori alternata–continua e sono completate da esperienze di laboratorio.

BIBLIOGRAFIA
H. Bühler, *Traité d'Électricité, vol. XV, Électronique industrielle 1, électronique de puissance*, Ceorgi, Lausanne.
Möltgen, *I tiristori*, (Collana Tecnica Siemens 3).
G. Montessori, *Elettronica di potenza*, Delfino.
Tali testi contengono solo parte degli argomenti del corso, pur contenendo argomenti che non verranno svolti.

L 2030 Fisica matematica

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 50 esercitazioni 30 laboratori 20 (settimanali 4/2/2)

Prof. Nicola Bellomo (Matematica)

Il corso è rivolto a studenti che abbiano interesse nell'approfondimento degli aspetti di modellizzazione matematica di sistemi fisici nella scienze applicate, con particolare attenzione all'ingegneria elettronica, ed ai relativi metodi matematici per l'analisi quantitativa con sistemi di calcolo computerizzato.

PROGRAMMA
Il programma del corso è organizzato in un ciclo di lezioni sugli aspetti di modellizzazione matematica e sui modelli delle scienze applicate ed in un ciclo di lezioni su metodi matematici che vengono poi gestiti nelle esercitazioni rivolte alla organizzazione e gestione di programmi di calcolo.
Gli argomenti del primo ciclo di lezioni sono i seguenti: metodi di modellizzazione, classificazione di modelli, modelli elementari della fisica matematica, modelli della fluidodinamica, modelli dell'elettromagnetismo, modelli cinetici e statistici, modelli stocastici, modelli in biomatematica.
Gli argomenti del secondo ciclo sono i seguenti: metodi di interpolazione ed approssimazione, soluzione di problemi al valore iniziale ed al contorno con metodi alle differenze finite e metodi di collocazione pseudo-spettrali, soluzione di problemi inversi, metodi di analisi di modelli stocastici.

BIBLIOGRAFIA
N. Bellomo, L. Preziosi, *Mathematical modelling and scientific computation*, CRC, Boca Raton, 1993.

L 2150 Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 60 esercitazioni 30 (settimanali 4/2)

Prof. Ernesto Arri (Automatica e informatica)

Il corso è propedeutico ai corsi specialistici di misure elettriche ed elettroniche e presenta i fondamenti della moderna scienza delle misure secondo una metodologia unitaria valida per qualsiasi grandezza suscettibile di misurazione. Gli oggetti e i fenomeni misurabili, le operazioni da compiere, i metodi e i mezzi tecnici impiegati, la conversione delle letture nei risultati, la qualificazione e il confronto di questi mediante l'incertezza sono introdotti in modo operativo, evidenziando le connessioni con le discipline informatiche e automatiche.

PROGRAMMA
Garanzia di qualità dei prodotti e dei servizi. Organismi normativi, di certificazione e metrologici internazionali, europei, comunitari e nazionali.
Fondamenti di teoria della misurazione. Grandezze misurabili. Unità di misura. Sistemi di unità. Sistema internazionale (SI). Definizione, realizzazione, riproduzione mantenimento e disseminazione delle unità.

Informazione di una misura: fascia di valore. Incertezza. Compatibilità di più misure. Riferibilità. Servizi di taratura.
Procedimento logico operazionale e modello di una misurazione e/o regolazione (*m.r.*). Segnale, rumore, interfaccia, interazione, in una *m.r.* Grandezze d'influenza. Metodi per *m.r.*: diretti, indiretti, a letture ripetute. Metodi diretti: per indicazione e per confronto (per opposizione e per sostituzione, differenziali e per azzeramento).
Dispositivi per *m.r.*, campioni materiali, strumenti, trasduttori, sensori, attuatori, comparatori, potenziometri, ponti, strumenti intelligenti, dispositivi per acquisizione e distribuzione di dati. Informazione ottenibile da un dispositivo per *m.r.*: lettura. Taratura come conversione da lettura in misura.
Caratteristiche metrologiche dei dispositivi per *m.r.*. Loro classificazione secondo classi di precisione. Normativa sulle *m.r.* e sulle incertezze. Incertezze di misura: componenti di tipo A (aleatorie, valutabili con metodi statistici) e B (sistematiche, valutabili secondo altri criteri).
Teoria delle probabilità. Variabili aleatorie. Distribuzioni e densità di probabilità. Momenti: valore medio, varianza, scarto-tipo. Distribuzioni multivariate: covarianza. Teorema limite centrale. Gradi di libertà.
Analisi statistica. Popolazioni e campioni statistici: istogrammi, momenti empirici. Variabili statistiche: distribuzioni campionarie. Inferenza statistica. Stime dei parametri di una popolazione: livello fiduciario, indice di significatività.
Test statistici: parametrici (*t, F*) e non (χ). Regressioni: metodo dei minimi quadrati.
Trattamento statistico delle misure per le incertezze A. Propagazione delle incertezze nelle misurazioni indirette. Caratterizzazione anche delle incertezze A in termini di varianze. Incertezze composte da A e B. Incertezza globale.

ESERCITAZIONI.
Svolte in aula, consistono in esemplificazioni pratiche e in applicazioni grafiche e numeriche degli argomenti trattati a lezione.
LABORATORI. Visite a laboratori metrologici, in particolare quelli dell'IEN e IMGC.

N 2630 Impianti di elaborazione

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2

Prof. Silvano Gai (Automatica e informatica)

Il corso si pone come scopo la descrizione delle metodologie di progetto dei grossi impianti di elaborazione dati. Vengono considerati aspetti quali l'architettura dei *mainframe*, il dimensionamento dell'I/O, le architetture a *cluster*, la progettazione dei CED, le politiche di *backup*, la sicurezza logica e fisica dei dati.

PROGRAMMA
Enfasi viene data alla progettazione di reti locali e geografiche in ambiente eterogeneo utilizzando i principali protocolli proprietari quali SNA, Decnet e TCP/IP.
Vengono introdotti i criteri di progettazione per il cablaggio strutturale degli edifici, ponendo particolare attenzione all'integrazione tra il mondo dei calcolatori e quello delle telecomunicazioni. Vengono inoltre introdotti criteri di progetto per dorsali geografiche di telecomunicazioni basate su reti TDM e a cella.
Vengono inoltre paragonate soluzioni di basate su elaboratori UNIX e/o su sistemi operativi di rete, quali Novell e LAN Manager, confrontandoli con soluzioni più conservative basate su *mainframe* in temini di costi–benefici.

N 2850 Informatica grafica

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2

Prof. Aldo Laurentini (Automatica e informatica)

Il corso si propone di fornire agli allievi le conoscenze di base relative alla grafica per elaboratori, nei suoi aspetti sia teorici che di realizzazioni *software* e *hardware*.
Esso si articola in tre fasi successive, durante le quali verranno trattati nell'ordine gli algoritmi, le architetture ed i dispositivi per la grafica per elaboratori. Oltre a fornire le conoscenze matematiche ed algoritmiche fondamentali riguardanti gli aspetti teorici della *computer* grafica, il corso si propone pertanto l'analisi di diverse soluzioni architetturali, rivolgendo particolare attenzione ai dispositivi per sistemi grafici commercialmente disponibili sul mercato.

REQUISITI. *Sistemi di elaborazione 1*

PROGRAMMA
Architetture dei sistemi grafici:
- dispositivi per i sistemi grafici
- dispositivi di visualizzazione
- dispositivi di stampa
- dispositivi per l'*input* interattivo
- memorie grafiche
- controllori grafici e controllori CRT

Grafica bidimensionale.
- Nozioni fondamentali:
  rappresentazioni geometriche; primitive grafiche; rappresentazioni grafiche; operazioni di base (traslazioni, rotazioni, scalamenti); interfaccia uomo–macchina.
- Algoritmi:
  tracciamento di linee e cerchi; riempimento di aree; *antialiasing*; *dithering*.

Grafica tridimensionale.
- Nozioni fondamentali:
  rappresentazione geometrica; operazioni di base (traslazioni, rotazioni, scalamenti); proiezione parallela e prospettica; problematiche (linee e superfici nascoste).
- Tecniche di rappresentazione tridimensionale:
  modellazione solida; curve e superfici
- *Rendering*:
  modelli di illuminazione; modelli di ombreggiatura; algoritmi per il *rendering*; colorimetria; tessiture ed *antialiasing*.

Standard grafici.
- GKS 2D e 3D,
- CGM,
- PHIGS,
- *Standard* per il *desk top publishing*.

Architetture dei sistemi grafici:
- architetture convenzionali,
- architetture sistoliche,
- architetture avanzate.

Caratteristiche dei sistemi grafici commercializzati:
- *software* per grafica 2D e 3D
- *software* per *desk top publishing*,
- coprocessori grafici,
- grafica su PC,
- grafica su *workstation* dedicate,
- *supercomputer* e reti di elaboratori grafici.

ESERCITAZIONI
Le esercitazioni vertono sul progetto e sullo sviluppo di algoritmi ed architetture specifici nei campi della modellazione e visualizzazione tridimensionale e della grafica per il *desk top publishing*.

L 3050 Istituzioni di meccanica quantistica

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2

Prof. Carla Buzano (Fisica)

Il corso si propone, partendo dalle conoscenze acquisite nei corsi di *Fisica 1 e 2*, 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.

PROGRAMMA
Cenni di meccanica analitica.
Lagrangiana ed equazioni di Lagrange, hamiltoniana ed equazioni di Hamilton, parentesi di Poisson, trasformazioni canoniche. Piccole oscillazioni, coordinate normali.
Meccanica quantistica.
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 Schrödinger, 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:
- 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, variabili di anno in anno, con particolare attenzione al magnetismo (hamiltoniana di *spin*).

P 3280 Meccanica dei robot

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

Prof. Ario Romiti (Meccanica)

Scopo del corso è di fornire le conoscenze necessarie per la progettazione funzionale e strutturale dei robot e per il loro adattamento ai vari possibili impieghi, e la formulazione dei modelli matematici che dovranno essere utilizzati dai programmatori dei controlli. Verranno dapprima studiate le caratteristiche dei componenti, quindi sarà effettuata l'analisi del sistema robot; verranno infine considerate le applicazioni, dall'integrazione del robot in sistemi complessi alla personalizzazione dei robot per usi particolari.

PROGRAMMA

Elementi caratteristici di robot e manipolatori. Classificazione dei robot. Gradi di libertà. Struttura meccanica dei robot. Configurazioni con elementi articolati e di scorrimento. Costituzione dei giunti e delle guide. Costituzione dei polsi. Sistemi di attuazione: elettrico, idraulico, pneumatico.

Caratteristiche meccaniche e di controllo degli attuatori. Sistemi di riduzione della velocità. Sensori di posizione e di velocità, assoluti ed incrementali, ottici ed elettromagnetici. Sensori tattili, di prossimità visuali. Sensori di forza. Trasduzione ed interpretazione dei segnali dei sensori.

Mani di presa meccaniche, elettromeccaniche, a vuoto. Movimentazione delle mani e delle dita. Forze di contatto.

Metodi di controllo automatico dei robot. Modellazione cinematica e dinamica del sistema meccanico del robot. Identificazione dei componenti. Metodi di analisi dinamica: teoremi generali, equazioni di Lagrange, metodi variazionali.

Rigidezze dei componenti e delle articolazioni. Effetti dell'elasticità della struttura. Modi di vibrazione. Precisione di posizionamento. Modelli delle mani di presa e dei sistemi di attuazione.

Trasmissioni nelle linee pneumatiche ed idrauliche. Studio dei transitori. Sollecitazioni dei componenti. Affidabilità e impiego nei sistemi flessibili di lavorazione. Sistemi di alimentazione. Meccanica delle apparecchiature di alimentazione ed orientamento. Sistemi passivi ed attivi di assemblaggio. La sensorizzazione dei sistemi di assemblaggio.

Robot di montaggio. Robot di manipolazione. Robot per saldatura a punti e continua. Robot di verniciatura. Robot speciali: autolocomotori, per protezione civile ed applicazioni mediche, per applicazioni spaziali, minerarie, oceaniche, nucleari.

Elementi di valutazione economica sull'impiego dei robot.

BIBLIOGRAFIA.

Vukobratovic, Portkonjak, *Dynamics of manipulation robots,* Springer, 1982.
Vukobratovic, Stokic, *Control of manipulation robots,* Springer, 1982.
R. Paul, *Robot manipulators : mathematics, programming and control,* MIT Press, 1981.

L 3690 Misure per l'automazione e la produzione industriale

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

Prof. Franco Ferraris (Elettronica)

Il corso intende fornire le nozioni fondamentali sui metodi e gli strumenti di misura usati nell'automazione industriale. Sono descritti i principali sensori ed 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.
Le esercitazioni sperimentali di laboratorio, svolte dagli studenti suddivisi in gruppi, hanno lo scopo di far acquisire famigliarità con gli strumenti e i metodi illustrati a lezione.

PROGRAMMA
1. La misurazione di grandezze tempovarianti. Le scale del tempo. I campioni. La caratterizzazione dinamica degli apparati di misura.
2. I convertitori D/A ed A/D. Richiami sul campionamento dei segnali. Caratteristiche metrologiche dei convertitori. Convertitori ad approssimazioni successive, ad inseguimento, ad integrazione, sigma–delta.
3. I processi automatici di misurazione. Le caratteristiche fondamentali. La struttura. Le interfacce.
4. Gli strumenti intelligenti. Le caratteristiche fondamentali. L'architettura di uno strumento intelligente.
5. Generalità sui sistemi di acquisizione automatica dei dati (SAD). Le caratteristiche fondamentali. L'integrazione nel processo produttivo di una fabbrica. Gli elementi funzionali: interfacce (modello ISO-OSI), i *bus* (i principali *standard*), i circuiti di condizionamento, le unità di elaborazione e gestione. L'architettura di un SAD. Esempi di SAD. I SAD per il collaudo ed il controllo della qualità (ATE).
6. Interfacce parallele (Centronics, GPIO) e seriali (RS232C) per il SAD.
7. Il bus VME e VXI. *Data transfer bus, data arbitration bus, interrupt bus, utility bus*. Modalità di comunicazione.
8. Il *bus* IEEE 488 e IEC 625. La struttura del *bus*. I tipi di comandi. L'indirizzamento. *Serial poll* e *parallel poll*. Introduzione alle estensioni (IEE 488.2).
9. Generalità sui sensori di grandezze fisiche e loro caratterizzazione metrologica. Applicazioni nel campo della robotica e della produzione industriale.
10. I sensori di temperatura: le scale di temperatura; i principali tipi di sensori: termoresistenze e termocoppie; cenni ad altri tipi di sensori.
11. Cenni ai sensori per la misurazione di grandezze meccaniche: forza, posizione, velocità, accelerazione.
12. Esempi di attuatori: motori in *cc* e a passo, attuatori pneumatici.

ESERCITAZIONI
Uso di un sistema di acquisizione dati basato su *personal computer*. Prove con segnali elettrici e con sensori di temperatura e forza. Uso di programmi applicativi esistenti sul mercato. Scrittura di programmi di acquisizione. Elaborazione dei dati acquisiti.

L 3790 Modellistica e controllo dei sistemi ambientali

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 76 esercitazioni 24 (settimanali 6/2)

Prof. Simona Muratori (Automatica e informatica)

Il corso presenta una rassegna delle tecniche di analisi dei sistemi utili per lo sviluppo e l'uso di modelli descrittivi di simulazione e previsione e di modelli decisionali di pianificazione e gestione. Particolare importanza viene data ai problemi di stabilità e ottimizzazione dei sistemi dinamici sia lineari che non lineari.
Il corso si articola in lezioni, esercitazioni teoriche ed esercitazioni al calcolatore dove vengono sviluppati dallo studente studi a carattere applicativo.

REQUISITI. *Fondamenti di informatica, Analisi matematica 2.*

PROGRAMMA
Generalità sulla modellistica; modelli descrittivi e modelli decisionali.
Elementi di teoria dei sistemi lineari; stabilità e altre proprietà strutturali, risposta in frequenza e modelli ARMA.
Elementi di teoria dei sistemi non lineari; molteplicità di equilibri, cicli limite, biforcazioni e catastrofi, caos deterministico.
Analisi dei dati e trattamento dei segnali e delle immagini.
Simulazione e taratura *off-line* e *on-line* dei modelli di simulazione.
Previsione e taratura dei previsori; previsione adattativa.
Metodi di programmazione matematica e ottimizzazione combinatoria.
Pianificazione, analisi costi–benefici, analisi a molti obiettivi e strutture decisionali complesse.
I problemi di gestione; elementi di teoria del controllo ottimo e programmazione dinamica.

BIBLIOGRAFIA
Sono disponibili le *Note del corso* (in 2 volumi), che corrispondono a quanto viene proiettato a lezione (tutto il corso è svolto con lavagna luminosa) e pertanto costituiscono solo un supporto per la preparazione dell'esame.

L 4580 Robotica industriale

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 28 (settimanali 6/2)

Prof. Basilio Bona (Automatica e informatica)

Il corso ha l'obbiettivo di studiare il problema del controllo dei robot manipolatori industriali. A questo scopo sviluppa il modello cinematico e dinamico dei manipolatori, ne considera i problemi di calibrazione e identificazione dei parametri, fornisce un quadro delle tecniche di pianificazione della traiettoria e infine introduce una serie di metodi di controllo, dal più semplice metodo di controllo a giunti indipendenti sino ai metodi di linearizzazione mediante retroazione nonlineare e cenni sul controllo adattativo e sul controllo di forza.
Lo studente, oltre ad acquisire una conoscenza delle problematiche più specificatamente controllistiche nel settore della robotica, ha l'occasione di vedere applicate ad un'apparecchiatura elettromeccanica complessa molte delle nozioni apprese in altri corsi di automatica.

REQUISITI
Sono sufficienti: una conoscenza di controlli automatici, acquisita nel corso di *Controlli automatici* (*speciale* ovvero *generale*), ed un conoscenza elementare di cinematica, statica e dinamica, acquisita nei corsi di *Fisica* ovvero di *Meccanica applicata alle macchine*. Può essere utile, ma non strettamente necessario, avere seguito i corsi di *Modellistica e identificazione* e di *Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo*.

PROGRAMMA
Classificazione dei robot per uso industriale; gradi di libertà e di movimento, catene cinematiche aperte e chiuse.
Rappresentazioni matematiche dell'assetto di un solido (angoli di Eulero, quaternioni, vettori di Rodrigues, etc.).
Rappresentazione cinematica del manipolatore.
Jacobiano del manipolatore.
Statica.
Dinamica: equazioni di Newton–Eulero e di Lagrange.
Pianificazione del movimento.
Controllo a giunti indipendenti.
Controllo a coppia calcolata e a dinamica inversa.
Linearizzazione mediante retroazione nonlineare.
Robustificazione dei controllo.
Controllo di forza e controllo ibrido.
Controllo adattativo.

È possibile che vengano trattati argomenti aggiuntivi, diversi da un anno all'altro, come ad esempio i sensori per la robotica o i linguaggi di programmazione per robot, oppure vengano sviluppate altre tecniche di controllo avanzato, ovvero si impostino problemi di modellistica e controllo di bracci elastici.

ESERCITAZIONI. Vengono sviluppati gli aspetti computazionali relativi a strutture semplici (bracci planari).

BIBLIOGRAFIA
Verranno distribuite agli studenti le prime bozze di un testo di appunti, che tuttavia non copre ancora tutto il programma del corso.
È possibile trovare molto del materiale trattato sul testo (in italiano)
Fu, Gonzales, Lee, *Robotica*, McGraw-Hill.
Altri testi, in inglese, saranno indicati dal docente all'inizio del corso.

L 4700 Sensori e trasduttori

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 4 esercitazioni 2 laboratori 4

Prof. Andrea De Marchi (Elettronica)

Il corso ha lo scopo di fornire un quadro aggiornato sui principi fisici di funzionamento, sui materiali e le tecnologie costruttive, sulle modalità di impiego e di inserimento in strumentazione complessa, sui criteri e tecniche di caratterizzazione metrologica dei sensori nel campo dei processi industriali.

PROGRAMMA
1. Definizione e classificazione dei sensori e trasduttori; caratteristiche metrologiche; metodi di caratterizzazione.
2. Principi di funzionamento; tecniche di trasduzione; trasduttori resistivi, capacitivi, a variazione di induttanza e riluttanza magnetica; trasduttori piezoelettrici.
3. Tecnologie di produzione; *film* spesso e *film* sottile.
4. Sensori per la misurazione di grandezze fisiche: temperatura, lunghezza, posizione e spostamento, velocità, accelerazione e vibrazione, forza, coppia e deformazione, pressione, flusso e portata, livello; cenni a sensori di umidità, suono, densità.
5. Strumentazione per misure industriali con metodi "non a contatto"; sensori ad ultrasuoni; sensori ottici e a fibre ottiche; metodi interferometrici.
6. Sensori intelligenti.
7. Condizionamento e conversione del segnale; ponti a trasduttori; amplificatori per strumentazione; circuiti per trasduttori e trasformatore differenziale; cenni alle tecniche di conversione analogico/digitale.

ESERCITAZIONI
Le esercitazioni in aula hanno lo scopo di presentare le esercitazioni di laboratorio e di discuterle dopo che sono state svolte.
LABORATORIO. Le esercitazioni sperimentali di laboratorio, svolte dagli studenti suddivisi in gruppi, riguardano l'uso e la caratterizzazione di differenti tipi di sensori utilizzati nell'automazione industriale.

F 4850 Sistemi di commutazione

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 66 esercitazioni 22 (settimanali 6/2)

Prof. Guido Albertengo (Elettronica)

Lo scopo del corso è fornire agli allievi le metodologie di base perl'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.

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.
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 (LATM).
Tecniche semplificate di commutazione veloce di pacchetto: l'instradamento a deflessione. Struttura del commutatore ed architettura della rete a deflessione. Segmentazione e ricostruzione di messaggi in una rete a deflessione.

BIBLIOGRAFIA
J.H. Hui, *Switching and traffic theory for integrated broadband networks*, Kluwer.
J.R. Boucher, *Voice teletraffic system engineering*, Artech House.

L 4900 Sistemi di radiocomunicazione

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 84 esercitazioni 24 laboratori 4 (settimanali 6/2)

Prof. Ermanno Nano (Elettronica)

Il corso, di carattere applicativo, ha la finalità di trattare i sistemi di radiodiffusione sonora e televisiva. La prima parte è dedicata alla presentazione dei vari sistemi di trasmissione usati, all'esame dei ricevitori sonori e televisivi ed ai metodi di misura delle loro principali caratteristiche. Seguono alcune nozioni sugli impianti d'antenna centralizzati e sulla ricezione della radiodiffusione diretta da satellite. La seconda parte riguarda i problemi di compatibilità elettromagnetica inerenti la protezione della radiodiffusione e norme relative.
Alle lezioni fanno seguito esercitazioni di calcolo.

REQUISITI. Si consiglia di aver seguiti i corsi di *Comunicazioni elettriche.*

PROGRAMMA
Prima parte
Sistemi di radiodiffusione sonora in monofonia e stereofonia a modulazione di ampiezza e di frequenza, filodiffusione, trasmissione dati (RDS). I ricevitori sonori. Sistemi di radiodiffusione televisiva monocromatica ed a colori, terrestre (NTSC, PAL, SECAM) e diretta da satellite. I ricevitori televisivi. Impianti centralizzati d'antenna. Misure sui ricevitori e norme internazionali relative (IEC), segnali di prova.
Seconda parte
Protezione della radiodiffusione. Norme di compatibilità elettromagnetica internazionali (CISPR) ed europee (CENELEC), direttiva CEE. Tipi di radiodisturbi, loro spettri di frequenza ed effetto sulle ricezioni sonore e televisive. Metodi di misura delle tensioni, potenze e campi di disturbo. Limiti di emissione prescritti. Misuratore CISPR di radiodisturbi ed analizzatori di spettro. Misure dell'immunità dei ricevitori ai radiodisturbi irradiati e convogliati.

ESERCITAZIONI
Esercizi di calcolo su ricevitori e impianti d'antenna. Esempi di calcolo di previsioni delle interferenze e di verifica delle metodologie di misura dei radiodisturbi.
LABORATORI
Dimostrazioni di misure sui ricevitori, spettri di segnali di prova. Misure di radiodisturbi con analizzatore di spettro. *(Nota: la possibilità di fare esercitazioni di laboratorio è vincolata al numero di iscritti al corso).*

BIBLIOGRAFIA
E. Nano, *Dispense di radiotecnica.*
E. Nano, *Compatibilità elettromagnetica*, Boringhieri, 1979.
(Nota: i testi suddetti sono in corso di aggiornamento).

N 5050 Sistemi per la progettazione automatica

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore settimanali): lezioni 6 esercitazioni 2

Prof. Paolo Prinetto (Automatica e informatica)

Il corso esamina i problemi che occorre affrontare per progettare e produrre 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
Metodologie di progetto a livello sistema.
Simulazione:
- Linguaggi per la descrizione dello hardware.
- Tecniche di simulazione di macchina buona.
- Tecniche di simulazione di macchina guasta.

Le varie fasi del collaudo:
- Analisi dei costi.
- Tecniche di generazione delle sequenze di collaudo.
- Le macchine per il collaudo.

Metodologie di progettazione orientate al collaudo.
Sintesi Automatica.
Verifica formale.

ESERCITAZIONI. Sono previste esercitazioni pratiche relative all'utilizzo degli strumenti analizzati nel corso delle lezioni.

L 5404 Superconduttività

(Corso ridotto, 1/2 annualità)

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 50 (settimanali 4)

Prof. Mario Rasetti (Fisica)

Finalità del corso è di dare una descrizione sistematica della fenomenologia connessa con il fenomeno della superconduttività e delle proprietà strutturali dei superconduttori (in particolare ad alta temperatura critica), di fornire gli strumenti fondamentali necessari per una descrizione microscopica (quantistica) della superconduttività, utilizzandoli poi per valutare le proprietà fisiche caratteristiche essenziali dei superconduttori, di descrivere infine le più importanti applicazioni della superconduttività alla tecnologia avanzata.

REQUISITI. Sono necessarie nozioni propedeutiche di meccanica quantistica e di meccanica statistica.

PROGRAMMA

Fenomenologia

1. Proprietà elettrodinamiche macroscopiche dei superconduttori: resistenza elettrica a bassa temperatura; effetto Meissner, campi magnetici critici; fenomeni dipendenti dalla forma; quantizzazione del flusso magnetico; correnti persistenti.
2. Proprietà termodinamiche: il *gap* di energia; parametri d'ordine; calore specifico; modello fenomenologico a due fluidi.
3. Equazioni elettrodinamiche di Landau.
4. Teorie fenomenologiche più raffinate: le equazioni non-locali di Pippard; la teoria di Ginzburg–Landau; energia di superficie, interfacce.
5. Ulteriori proprietà fenomenologiche: superconduttori di tipo II, campi critici inferiore e superiore, energia delle linee di flusso, correnti critiche; *tunneling*, quasiparticelle, effetto Josephson, giunzioni.

Teoria microscopica

6. Richiami di seconda quantizzazione: modi normali di un cristallo, fononi; fermioni; fenomeni di *scattering*.
7. Costruzione della hamiltoniana di Bloch–Frölich: modello di Sommerfeld, interazioni coulombiane, *scattering* degli elettroni dalle vibrazioni del cristallo.
8. Lo stato fondamentale: instabilità dello stato fondamentale normale; coppie di Cooper; lo stato fondamentale di Bardeen, Cooper, Schrieffer.
8. Stati eccitati: eccitazioni fermioniche; effetti di coerenza, perturbazioni.
10. Temperatura finita: transizione di fase, temperatura critica; effetti di prossimità; effetto Meissner.
11. Criteri per la superconduttività: semiconduttori superconduttori; caratteristiche corrente–campo.

Alta temperatura critica

12. I nuovi materiali superconduttori: perovskiti, $YBaCuO$, ecc.; proprietà strutturali; caratteristiche elettromagnetiche e meccaniche, metodi di produzione.
13. Verso una teoria dell'alta T_C: modello di Hubbard e sue varianti; stato fondamentale, *pairing* di elettroni; ruolo dei fononi; anyoni e statistiche esotiche, quanti di flusso.

ESERCITAZIONI

Di laboratorio, con misure di *gap*, *tunneling* e calore specifico.

P 5640 Tecnologia meccanica

Anno:periodo 5:1

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

Il corso ha lo scopo di fornire una solida base conoscitiva sui principali processi tecnologici impiegati nell'industria manifatturiera al fine di conferire all'allievo la capacità di elaborare il ciclo di fabbricazione di un particolare, scegliendo processi e macchinari adatti.

REQUISITI. *Disegno di macchine + Tecnologia meccanica, Meccanica applicata, Scienza delle costruzioni, Tecnologia dei materiali metallici.*

PROGRAMMA

Processi fusori.
Generalità sulla fusione e solidificazione dei metalli; fusioni in terra; fusioni in conchiglia; microfusione; criteri di progettazione dei particolari e degli stampi; aspetti economici.
Lavorazioni per deformazione plastica.
Cenni di teoria della plasticità; laminazione; stampaggio; estrusione; trafilatura; lavorazioni della lamiera.
Lavorazioni per asportazione di materiale.
Calcolo della forza e della potenza nelle principali lavorazioni; durata degli utensili; economia del taglio.
Metodi di giunzione.
Saldatura ad arco in aria ed in atmosfera controllata; saldatura per resistenza; saldatura ad attrito; saldatura con fascio elettronico e con laser; incollaggi.
Controllo numerico delle macchine utensili.
Principali tipologie; componenti tipici: strutture, guide e slitte, mandrini, servomotori, trasduttori, unità di governo; centri di lavoro; isole di lavoro; celle di lavoro robotizzate; FMS.
Cenni sulla produzione di particolari in materiali non metallici.
Plastiche; compositi a matrice polimerica; ceramici.

ESERCITAZIONI

Cicli di fabbricazione. Studio di cicli di fabbricazione; esempi di cicli in alternativa. Programmazione delle macchine a controllo numerico. Programmazione manuale ed assistita.

BIBLIOGRAFIA

S. Icalpakjian, *Manufacturing engineering and technology*, Addison-Wesley, 1989.

L 5690 Tecnologie e materiali per l'elettronica

Anno:periodo 5:1 Impegno (ore): lezioni 80 (settimanali 6)

Prof. Gian Paolo Bava (Elettronica)

Il corso ha lo scopo difornire informazioni sulle tecnologie impiegate nella fabbricazione dei componenti elettronici. Questo studio tecnologico-costruttivo dei componenti elettronici è importante per la migliore comprensione dei dispositivi elettronici nei confronti delle loro prestazioni, per la valutazione della loro affidabilità (il cui calcolo diviene sempre più necessario con l'aumentare della complessità delle apparecchiature elettroniche) e infine per il valore economico preminente che la componentistica elettronica ha assunto nella produzione dei sistemi elettronici.
Il corso comprende lezioni, seminari specialistici su alcuni temi, visite presso lo CSELT.

REQUISITI.
Dispositivi elettronici; è tuttavia consigliato il corso di *Dispositivi elettronici 2.*

PROGRAMMA
Proprietà dei materiali semiconduttori: rapporto composizione, struttura cristallina, struttura a bande e proprietà fisiche.
Tecnologia di crescita di monocristalli: *bulk* ed epitassiali.
Caratterizzazione materiali: cristallografica, ottica ed elettronica.
Tecnologia dei processi realizzativi: fotolitografia, deposizioni, incisioni, diffusione ed impiantazione.
Tecnologie di interconnessione.
Progettazione di circuiti integrati: schema e simulazione logica ed elettrica, CAD e *testing*.
Tecnologia dei circuiti integrati: MOS, CMOS, SOS e correlati, circuiti LSI ed VLSI.
Tecnologia dei GaAs: planare e circuiti integrati.
Dispositivi opto-elettronici: comunicazione ottiche, emettitori, rivelatori.
Affidabilità: affidabilità sistemi e meccanismi di guasto.

TESTI CONSIGLIATI
Sze, *Dispositivi a semiconduttore,* Hoepli, Milano, 1973.
Agraval, Dutta, *Long wavelength semiconductor lasers,* Van Nostrand Reinhold, 1986.
Williams, *Gallium arsenide processing techniques,* Artech House, 1985.
Einspruch, Wisseman, *GaAs microelectronics,* Academic Press, New York, 1985.
Pollino, *L'affidabilità dei componenti elettronici a semiconduttore,* Scuola superiore "G. Reiss Romoli", L'Aquila, 1987.

L 5750 Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica

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

Prof. Giovanni Emilio Perona (Elettronica)

PROGRAMMA

Radiazione elettromagnetica ed elementi di radiometria. Interazione della radiazione con la superficie terrestre e con l'atmosfera (fenomeni di riflessione, *scattering*, assorbimento ed emissione). Teoria del trasferimento radiativo.
Diagnostica elettromagnetica: proprietà degli oggetti e loro firme spettrali.
Sistemi satellitari impiegati per l'osservazione del territorio e il monitoraggio ambientale.
Sensori e strumenti per piattaforme mobili e per stazioni a terra:
- sensori e strumenti passivi (radiometri, *scanner* multispettrali, ...)
- sensori e strumenti attivi (radar-altimetri, radar ad apertura sintetica, LIDAR, radar meteorologici, interferometria DOASS, ...)

Elementi di geodesia e cartografia. Problematiche di georeferenziazione. Correzioni geometriche.
Correzioni atmosferiche.
Interpretazione ed elaborazione di immagini telerilevate. Estrazione delle informazioni. Problematiche di classificazione.
Sistemi informativi territoriali (Geographical Information System): integrazione di dati cartografici, territoriali e telerilevati.
Casi di studio esemplificativi: riconoscimento dei vari tipi di copertura della superficie terrestre, monitoraggio delle colture agricole, sfruttamento delle risorse naturali, meteorologia, analisi dell'atmosfera, controllo dell'inquinamento, ...

Ogni argomento presentato durante le lezioni verra'illustrato con esempi applicativi. Particolare enfasi verrà data alle applicazioni di tipo ambientale.

ERCITAZIONI E LABORATORIO

Le esercitazioni in aula saranno propedeutiche a quelle effettuate sul calcolatore durante le ore di laboratorio. Rilievo particolare sarà dato alla risoluzione di alcuni problemi pratici; a questo fine saranno messi a disposizione degli studenti, per successive elaborazioni, diversi tipi di dati satellitari (provenienti dalle piattaforme SPOT, MOS, LandSat, MeteoSat, TIROS, SeaSat, ERS-1, Soyuz, ...)

BIBLIOGRAFIA

C. Elachi, *Introduction to the physics and techniques of remote sensing*, Wiley, 1979.
P. Cracknell, L.W.B. Hayes, *Introduction to remote sensing*, Taylor & Francis.

L 0220 Analisi funzionale

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 (settimanali 6)

Prof. Luciano Pandolfi (Matematica)

Il corso si rivolge agli studenti che vogliano approfondire le proprie conoscenze di analisi matematica allo scopo di accedere alla letteratura tecnica con maggiore contenuto teorico.

PROGRAMMA
Il corso presenta le nozioni fondamentali dell'analisi funzionale lineare che sono importanti per le applicazioni. Se ne motiva la necessità esaminando alcuni esempi di equazioni integrali. Si mostra la necessità di un integrale più generale di quello di Riemann e si illustrano le proprietà dell'integrale di Lebesgue.
Si presentano le definizioni e le proprietà essenziali degli spazi di Banach e di Hilbert e degli operatori lineari e continui. Si esaminano gli esempi più frequentemente incontrati nelle applicazioni.
Si illustrano gli operatori di proiezione e le serie di Fourier astratte.
Si studiano le proprietà dello spettro degli operatori lineari, sia continui che non continui.
Si studia la struttura degli operatori compatti tra spazi di Hilbert.
Si mostrano varie applicazioni degli argomenti trattati in particolare allo studio delle equazioni integrali e delle equazioni differenziali.

BIBLIOGRAFIA
B. Friedman, *Principles and techniques of applied mathematics*, Wiley, New York, 1956.
All'inizio del corso il testo manoscritto delle lezioni sarà a disposizione degli studenti.

H 0380 Azionamenti elettrici

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 104 esercitazioni 16 (settimanali 8/2)

Prof. Francesco Profumo (Ing. elettrica industriale)

Il corso tratta le diverse tipologie di azionamenti elettrici per applicazioni industriali.

PROGRAMMA.
Note introduttive.
Definizione di azionamento e degli elementi costituenti: attuatori elettromeccanici, strutture elettroniche di potenza e strutture di controllo. Tipologie di azionamenti *dc* e *ac* e principali campi di applicazione.
Strutture elettroniche di potenza.
Componenti elettronici di potenza: diodi, SCR, GTO, BJT, MOSFET, IGBT. Riepilogo dei convertitori *ac/dc* e tipologie di controllo. Tipologie di convertitori *dc/dc*. Tipologie di convertitori *ac/ac* senza *link* in continua: *back to back* e convertitori a matrice. Tipologie di convertitori *ac/ac* con *link* in continua: *hard switching* e *soft switching*. *Inverter* a tensione impressa e a corrente impressa.
Attuatori elettromeccanici.
Riepilogo delle equazioni della macchina *dc* e tipologie di motori a campo avvolto e a magneti permanenti. Riepilogo delle nozioni basi dei motori ad induzione e dei motori sincroni con riferimento alle applicazioni a velocità variabile.
Strutture di controllo.
Generalità sul comando in tensione e sul comando in corrente. Tipologie di modulatori (analogici e digitali) e tecniche di modulazione in anello aperto e con riferimenti generati in anello chiuso. Controlli analogici e digitali.
Azionamenti dc.
Azionamenti con strutture di potenza a ponte e controllo della tensione di armatura e della tensione di campo. Anelli di corrente. Controllo a coppia costante e a potenza costante. Azionamenti con strutture di potenza a *chopper.*
Azionamenti ac *per motori ad induzione.*
Soft start. Azionamenti ad *inverter* a corrente impressa. Azionamenti ad *inverter* a tensione impressa: ad onda quadra e modulati. Metodi scalari di controllo. Azionamenti per il controllo della frequenza e per il controllo della coppia. Azionamenti con *inverter* di tensione di tipo *V/f* costante: anello aperto, con anello di velocità, con controllo di scorrimento, controllo di coppia e di flusso. Azionamenti di tipo CRPWM. Azionamenti con *inverter* di corrente. Limiti delle soluzioni presentate. Metodi vettoriali di controllo.
Azionamenti ac *per motori sincroni.*
Metodi scalari di controllo: anello aperto di tipo *V/f* costante, autocontrollo, cicloconvertitore. Metodi vettoriali di controllo: cicloconvertitore, motori a magneti permanenti.

BIBLIOGRAFIA
T.A. Lipo, D.W. Novotny, *Electromechanical systems,* Note del corso ECE 411, Univ. of Wisconsin, Madison, 1986.
W. Leonhard, *Control of electrical drives,* Springer, Berlin [etc.], , 1985.
B.K. Bose, *Power electronics and AC drives,* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1986.

N 0390 Azionamenti elettrici per l'automazione

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 laboratori 20 (settimanali 6)

Prof. Alfredo Vagati (Ing. elettrica industriale)

Il corso analizza in particolare gli azionamenti elettrici adatti al controllo di posizione e, più in generale, le soluzioni di azionamento classiche e innovative, tipiche delle macchine utensili a controllo numerico, della robotica e dell'automazione industriale di tipo sofisticato. Viene data particolare enfasi alle soluzioni applicate industrialmente e alle relative problematiche d'impiego.

PROGRAMMA
Strutture di controllo per azionamenti ad alte prestazioni. *Cascade control.* Funzionamento in presenza di saturazione. Effetto del *ripple* del trasduttore meccanico. Impiego di osservatori per il controllo robusto e la compensazione del disturbo additivo. Servo-motori in corrente continua. Struttura del servo-motore e materiali magnetici permanenti impiegati. Sovraccaricabilità termica e magnetica.
Convertitore elettronico di potenza per servoazionamenti in corrente continua (*chopper*). Struttura a quattro quadranti. Tecniche di comando e tecniche di modulazione. Perdite dovute alla regolazione *switching*. Bilancio energetico.
Componenti elettronici di potenza impiegati negli azionamenti in oggetto (BJT, MOSFET, IGBT). Problematiche di commutazione. Perdite. Esigenze di pilotaggio. Commutazione non assistita e assistita.
Servomotori *brushless* (sincroni a magneti permanenti). Caso "trapezio". Problemi costruttivi. Modellistica, analisi della commutazione tra fasi. Struttura di controllo (di coppia). Sensori. Caso "sinusoidale". Problemi costruttivi, modellistica (caso di rotore isotropo e anisotropo). Struttura di controllo vettoriale (di coppia), sensori.
Convertitore elettronico di potenza per servoazionamenti in corrente alternata (*inverter* modulato). Struttura. Tecniche di modulazione vettoriale. Problematiche tipiche del caso trifase.
Motori a induzione controllati mediante "orientamento di campo". Modellizzazione, principio di controllo. Esigenza di osservazione dello stato. Tipologie di controllo impiegate industrialmente.
Motori a riluttanza (sincroni) ad alta anisotropia. Principio di funzionamento e particolarità costruttive. Problematiche di controllo. Campi di possibile impiego.
Confronto di prestazioni e di costi tra le diverse soluzioni di azionamento su citate e opportunità d'impiego nei diversi settori dell'automazione industriale.

LABORATORI. Verranno svolte esercitazioni pratiche su uno o più sistemi di azionamento, tra quelli citati.

BIBLIOGRAFIA
Dato il carattere strettamente applicativo del corso e la relativa novità di alcuni argomenti non è possibile consigliare un testo *ad hoc.*

L 0532 Campi elettromagnetici 2

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

Prof. Vito Daniele (Elettronica)

Il corso presenta i metodi avanzati che si utilizzano per lo studio e la progettazione dei componenti elettromagnetici con particolare riferimento a quelli che si introducono nelle microonde.

REQUISITI. *Elettrotecnica, Campi elettromagnetici.*

PROGRAMMA
Strutture stratificate piane.
Linee di trasmissione vettoriali e modelli circuitali. Metodo del punto di sella ed applicazioni. Problema della terra piana. Onde laterali, modi superficiali e onde *leaky* . Teoria degli schermi. Il metodo Wiener–Hopf in presenza di discontinuità. Problema del semipiano. Teoria dell'*aperture* in strutture planari: *aperture* singole e/o multiple con disposizione periodica. Discontinuità nelle guide d'onda rettangolari.
Strutture stratificate cilindriche.
Teoria generale delle strutture cilindriche stratificate. Modelli circuitali. Il problema della cilindro. L'eccitazione e l'irradiazione di guide circolari. Discontinuità nelle guide circolari.
Metodi numerici.
Metodo dei momenti. Metodi variazionali. Metodi perturbativi.

BIBLIOGRAFIA
L.B. Felsen, N. Marcuvitz: *Radiation and scattering of waves*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1973.
D.S. Jones, *The theory of electromagnetism*, Pergamon, New York, 1964.
R.E. Collin, *Field theory of guided waves*, McGraw-Hill, New York, 1961.
R. Mittra, S.W. Lee, *Analytical techniques in the theory of guided waves*, MacMillan, New York, 1971.
R.F. Harrington, *Time harmonic electromagnetic field*, McGraw-Hill, New York, 1961.
J. Van Bladel, *Electromagnetic fields*, McGraw-Hill, New York, 1964.
R.F. Harrington, *Field computation by moment method*, MacMillan, New York, 1968.

L 0760 Compatibilità elettromagnetica

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 50 esercitazioni 30 (settimanali 4/2)

Prof. Vito Daniele (Elettronica)

La compatibilità elettromagnetica (EMC) è una disciplina la cui importanza aumenta con lo sviluppo dei sistemi elettrici ed elettronici che coinvolgono frequenze sempre più elevate. Essa fornisce i concetti di base e le metodologie per analizzare e ridurre gli effetti dei disturbi elettromagnetici su tali sistemi.

REQUISITI. È richiesta una buona conoscenza di elettromagnetismo e pertanto è necessario aver superato i corsi di *Elettrotecnica* e di *Campi elettromagnetici*. Lo studente deve anche aver seguito i corsi di *Elettronica* e di *Analisi matematica 3*.

PROGRAMMA
Introduzione.
Linee di trasmissione scalari e vettoriali.
Interfacce elettriche.
Interfacce meccaniche.
Schermature.
Cavi e connettori.
Sorgenti di interferenza.
Strumentazione di misura.
Cenni alle normative.

BIBLIOGRAFIA
B. Audone, L. Bolla, *Principi di compatibilità elettromagnetica*, (ALENIA Technical Reports), 1992.
C.R. Paul, *Introduction to electromagnetic compatibility*, Wiley, 1992.
P.A. Chatterton, M.A. Houlden, *EMC*, Wiley, 1992.
H.W.Ott, *Noise reduction techniques in electronic systems*, Wiley, 1988.
K.S.H. Lee (ed.), *EMP interaction : principles, techniques and reference data*, Hemisphere, 1986.

L 0870 Controllo digitale

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 80 esercitazioni 24 (settimanali 6/2)

Prof. Maurizio Vallauri (Automatica e informatica)

Il corso ha l'obiettivo di presentare in modo organico e approfondito i fondamenti teorici e le principali metodologie di analisi e sintesi di controlli digitali.

PROGRAMMA
1. Descrizione matematica di segnali e sistemi campionati. La trasformata z. Descrizione di sistemi campionati mediante la trasformata z.
2. Stabilità dei sistemi campionati. Criteri fondamentali di stabilità. Criteri algebrici di stabilità.
3. I sistemi campionati lineari nello spazio di stato. Equazioni di stato. Regolazione per tempo di assestamento finito (*dead-beat*) e controllabilità. Regolazione con assegnazione degli autovalori. Regolazione modale. Osservatore dello stato e osservabilità.
4. Regolazioni adattive. Regolatori con modello di riferimento (MRAS). Il modello di errore. Teoria della iperstabilità e suo impiego nel progetto del regolatore. Regolatori *self-tuning* o con modello da identificazione (MIAS).

BIBLIOGRAFIA
Durante il corso gli allievi avranno a disposizione una copia riproducibile di appunti sulla maggior parte della materia trattata. Il corso si appoggia principalmente a:
O. Föllinger, *Lineare Abtastsysteme*, 4. Aufl., Oldenbourg, München, Wien, 1990.

L 1510 Economia e gestione dell'innovazione

Anno:periodo 5:2

[NdR: informazioni dettagliate sul corso non pervenute in tempo per la stampa]

L 1570 Elaborazione di dati e segnali biomedici

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 84 laboratori 28 (settimanali 6/2)

Docente da nominare (Elettronica)

Fine del corso è fornire una panoramica delle tecniche avanzate di elaborazione di dati sperimentali, segnali ed immagini di interesse nel settore biomedico.

REQUISITI. Conoscenze di base di analisi dei segnali e di teoria delle probabilità.

PROGRAMMA
Analisi statistica di dati sperimentali: descrizione e proprietà di dati sperimentali, richiami di teoria delle probabilità, analisi statistica elementare e teoria della stima, *test* di ipotesi, analisi della regressione, correlazione e varianza. Classificazione statistica, estrazione di caratteristiche e tecniche di suddivisione in classi. Applicazioni dell'analisi statistica dei dati alla valutazione dell'efficacia di trattamenti farmacologici e riabilitativi, ad indagini epidemiologiche e come supporto alla diagnosi.
Caratteristiche dei principali segnali di interesse nel settore biomedico: ENG, ERG, EOG, EEG, EP, EMG, ECG, EGG, GSR, EDR.
Tecniche di rivelazione del segnale: tecniche di rivelazione statistica e rivelatori basati sulla morfologia dell'evento. Applicazioni al sistema cardiocircolatorio, neurosensoriale e motorio.
Stima spettrale mediante metodi non parametrici e parametrici; caratterizzazione statistica degli errori di stima. Applicazioni ai segnali EMG, EEG, ECG, ... Definizione di spettri di ordine superiore e discussione delle caratteristiche del bispettro. Applicazioni del bispettro alla riduzione del rumore, alla rivelazione di eventi casuali ed all'interpretazione dello spettro di potenza di segnali deterministici o stocastici.
Tecniche di compressione dati e riduzione della ridondanza per segnali mono- e bidimensionali. Applicazioni all'elettrocardiografia dinamica, all'elettroencefalografia ed all'elettromiografia.
Tecniche di filtraggio numerico: filtraggio numerico tradizionale (IIR, FIR, FIR anticausali, ...), filtraggio statistico, filtri ottimi (Wiener, Kalman, ...).
Tecniche di riduzione del rumore applicate a problemi specifici quali l'ECG fetale, i potenziali evocati somatosensoriali, ...
Elaborazioni di immagini: codifica, filtraggio, ricostruzione di immagini; identificazione di contorni, misura di aree; tecniche di sottrazione digitale di immagini; tecniche di ricostruzione tridimensionale. Presentazione delle tecniche utilizzate in ecografia, TAC, angiografia digitale, PET, NMR, ...

ESERCITAZIONI
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 esposti. Sono previste alcune esercitazioni al calcolatore che consisteranno nello studio di problemi specifici utilizzando dati e segnali reali.

BIBLIOGRAFIA
J.S. Bendat, A.G. Piersol, *Random data : analysis and mesurement procedures,* 2nd edition, Wiley, 1986
C. Marchesi, *Tecniche numeriche per l'elaborazione dei segnali biomedici,* Pitagora, Bologna.
C.J. De Luca, M. Knaflitz, *Surface electromiography : what's new ?,* CLUT, 1992.

L 1780 Elettronica quantistica

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 70 esercitazioni 20 laboratori 10 (settimanali 6/2)

Prof. Paolo Allia (Fisica)

Il corso è dedicato allo studio di specifici fenomeni fisici di elevato interesse applicativo, per la cui comprensione è necessario il ricorso ad una rappresentazione quantistica della materia.
Nella prima parte del corso viene studiata l'emissione di radiazione coerente. Vengono richiamati alcuni concetti di meccanica quantistica, con particolare riguardo all'interazione fra campo di radiazione e materia, allo scopo di poter analizzare in dettaglio i principi che regolano il funzionamento delle sorgenti di radiazione coerente. Vengono esaminate le caratteristiche principali dei vari tipi di sorgenti laser attualmente utilizzati, insieme con le loro modalità di impiego.
La seconda parte del corso è dedicata allo studio dei fenomeni di superconduzione. Vengono descritte le principali conseguenze dell'esistenza di uno stato superconduttore, in particolare l'effetto Meissner, la quantizzazione del flusso magnetico, l'effetto Josephson, i fenomeni di interferenza quantistica, e le relative implicazioni in elettronica e metrologia. Viene infine discusso l'effetto Hall quantistico, in relazione alle sue recenti applicazioni metrologiche.

REQUISITI.
Per una comprensione ottimale dei concetti sviluppati nel corso, sono indicate conoscenze preliminari dei principi della meccanica quantistica e delle statistiche quantiche, quali quelle sviluppate nel corso di *Istituzioni di meccanica quantistica*, oppure nel corso di *Dispositivi elettronici*.

PROGRAMMA
Richiami teoria dell'interazione fra campo di radiazione e materia.
Emissione stimolata. Saturazione del guadagno.
Principi di funzionamento delle sorgenti di radiazione coerente: maser e laser.
Descrizione dei principali tipi di laser (a gas e a stato solido).
Generazione di impulsi di radiazione coerente: *Q-switching* e *mode-locking* nei laser.
Caratteristiche e applicazioni della radiazione coerente.
Fenomeni di superconduttività e cenni alle relative teorie quantistiche.
Effetto Meissner, effetto Josephson in corrente continua ed alternata.
Interferenza quantistica.
Dispositivi superconduttori ad interferenza quantistica (SQUIDs).
Richiami sull'effetto Hall classico. Effetto Hall quantistico.

ESERCITAZIONI
Verranno effettuate esercitazioni relative all'analisi di fenomeni o sistemi specifici, eventualmente con applicazione di calcolo numerico.
LABORATORIO. Verranno effettuate esperienze di laboratorio allo scopo di permettere agli studenti di approfondire la conoscenza del funzionamento di sorgenti laser multimodali e unimodali.

BIBLIOGRAFIA
A. Yariv, *Quantum electronics*, Wiley, New York, 1975.
G. Burns, *Solid state physics*, Academic Press, Orlando, 1985.

L 2000 Fisica dello stato solido

Anno:periodo 5:2

Prof. Alberto Tagliaferro (Fisica)

Il corso si propone di fornire le basi per la comprensione delle proprietà dello stato solido della materia. Ad una prima parte relativa alla comprensione dei meccanismi che generano tali proprietà, fa seguito una parte in cui vari tipi di proprietà e di materiali vengono analizzati in dettaglio.

REQUISITI.
Indispensabile è la conoscenza dei principi fondamentali della meccanica quantistica.

PROGRAMMA
Gas di Fermi: condizioni al contorno di Born – Von Karmann, livello di Fermi e potenziale chimico, densità di stati elettronici.
Reticoli cristallini: reticolo di Bravais, vettori primitivi, cella primitiva, base; reticolo reciproco, zona di Brillouin, indici di Miller.
Hamiltoniana dei solidi: energie cinetiche, energie di interazione, approssimazione adiabatica.
Modello del reticolo statico: Ioni e siti reticolari, periodicità della funzione d'onda elettronica.
Modello ad elettroni non interagenti: potenziale periodico, teorema di Bloch, elettroni "di Bloch" e quasiparticelle; struttura a bande: schemi di rappresentazione, densità di stati; teorema della massa efficace; piani di Bragg e *gap* fra le bande.
Moto semiclassico in campi elettromagnetici: equazioni del moto, lacune, tensore massa efficace.
Processi di scattering: sorgenti di *scattering*, equazione di Boltzmann, approssimazione del tempo di rilassamento.
Proprietà dei metalli: conducibilità elettrica e termica, effetti termoelettrici.
Effetti dell'interazione elettrone–elettrone: interazione coulombiana e modello di Hartree, interazione di Pauli e modello di Hartree–Fock, determinante di Slater ed interazione di scambio.
Effetti del reticolo ionico mobile: approssimazione armonica e modi normali, fononi acustici ed ottici e loro polarizzazioni, conservazione del *crystal momentum*.
Teoria del calore specifico: teoria di Debye e fononi acustici, teoria di Einstein e fononi ottici, densità di stati fononici e teoria completa.
Anarmonicità ed effetti di interazione fonone–fonone: urto fra fononi, processi *umklapp*, conducibilità termica.
Effetti dell'interazione elettrone–fonone: *screening*, interazione attrattiva elettrone–elettrone.

Saranno inoltre svolti alcuni dei seguenti argomenti monografici:
Proprietà magnetiche della materia. Materiali superconduttori. Materiali semiconduttori. Proprietà ottiche della materia. Metodi di calcolo della struttura a bande. Fenomeni di superficie. Proprietà elastiche e difetti reticolari.

BIBLIOGRAFIA
Ashcroft, Melmin, *Solid state physics*, Saunders.
Kittel, *Introduzione alla fisica dello stato solido*, Boringhieri.
Myers, *Introductory solid state physics*, Taylor & Francis.

L 2860 Informatica industriale

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

Prof. Marco Mezzalama (Automatica e informatica)

PROGRAMMA
Organizzazione aziendale.
Testi. Evoluzione delle teorie organizzative. Criteri organizzativi e organigrammi. Modelli di aziende. Aziende pubbliche e private, manifatturiere e di servizio. Macro-elementi gestionali.
Il sistema informativo.
Il *project management*. Il sistema informativo "informale". Sistemi informativi formali. I tipi di progetto.
Lo sviluppo di un sistema informativo (MIS).
Cos'è e come si pianifica un MIS. *Check-up* di un sistema informativo. *System design.*
La gestione del sistema informativo.
Sistema tradizionale (*mainframe*). Sistemi distribuiti. Sistemi *unattended.*
Security.
Security logica. *Security* fisica. *Disaster recovery.*

N 3000 Intelligenza artificiale

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

Prof. Elio Piccolo (Automatica e informatica)

Il corso si propone di illustrare le problematiche relative 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 consocenza del mondo esterno. Il corso è integrato da esercitazioni pratiche durante le quali lo studente si impratichirà nell'uso di linguaggi non-algoritmici, quali LISP, Prolog ed OPS5, di *shell* di sistemi esperti e di altri strumenti di intelligenza artificiale.

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: incerezza, 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 basati sulla conoscenza: modelli sintattici e semantici per la comprensione del linguagio 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 riconoscumento di configurazioni (*template matching*, approccio statistico e sintattico)
- il riconoscimento delle immagini
- il riconoscimento del parlato.

ESERCITAZIONI E LABORATORI

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.

L 3560 Microelettronica

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 56 esercitazioni 28 laboratori 14 (settimanali 4/2/1)

Prof. Francesco Gregoretti (Elettronica)

Il corso è essenziale per la formazione progettistico-circuitale di circuiti integrati, ed è organizzato in modo da fornire agli allievi le nozioni fondamentali sulla progettazione di circuiti elettronici integrati, con particolare enfasi sui circuiti logici a grande scala di integrazione (VLSI).
Durante le esercitazioni, anche di tipo sperimentale, viene svolto dagli allievi un ciclo completo di progettazione di tutto un circuito integrato o di una parte significativa dello stesso.

REQUISITI.
Dispositivi elettronici. Teoria dei circuiti elettronici. Elettronica applicata.

PROGRAMMA
Cenni di tecnologia, ciclo di fabbricazione. Componenti integrabili, caratteristiche e modelli dei dispositivi e delle interconnessioni.
Circuiti elementari, caratteristiche statiche e dinamiche. Circuiti digitali combinatori, di pilotaggio, di ingresso/uscita, circuiti di protezione.
Logiche regolari, programmabili, *array* e librerie di celle. Celle di memoria a sola lettura, a lettura/scrittura statiche e dinamiche, programmabili.
Logiche dinamiche, fenomeni di *boot-strapping* e *latch-up.*
Architettura interna, *floor planning*, distribuzione delle alimentazioni e dei segnali di cadenza.
Ciclo di progetto, strumenti per la progettazione assistita da elaboratore (CAD), *editor* grafici, simulatori elettrici e logici; generatori automatici di celle, *router* e piazzatori di celle.
Circuiti analogici. Dissipazione di potenza statica e dinamica. Cenni di misure, collaudo, *testing.*
Problemi relativi allo scalamento e cenni sulle tecnologie e sui componenti GaAs, e sull'integrazione a livello di *wafer.*

ESERCITAZIONI.
Le esercitazioni seguono gli argomenti svolti a lezione e si basano sullo sviluppo da parte degli allievi di esercizi di calcolo e valutazione di circuiti semplici, e simulazioni a calcolatore sia elettriche sia logiche. Successivamente gli allievi verranno suddivisi in gruppi che eseguiranno il progetto completo di un circuito integrato.

L 3620 Misure a iperfrequenze

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 laboratori 52 (settimanali 4/4)

Prof. Umberto Pisani (Elettronica)

Il corso è rivolto agli studenti che intendono approfondire la conoscenza e le tecniche di misura più moderne nei campi di frequenza, tipici delle telecomunicazioni, che vanno fino alle onde millimetriche, dando ampio spazio anche alla caratterizzazione sperimentale di componenti, strutture passive e dei più recenti dispositivi attivi.
Fondamentali sono le esercitazioni sperimentali organizzate come tesine.

REQUISITI. Per una proficua frequenza occorre avere acquisito le conoscenze fornite nei corsi di *Campi elettromagnetici*, di *Microonde* e di *Misure elettroniche*.

PROGRAMMA
Generatori di segnali, generatori *sweep* e sintetizzatori.
Misure di potenza e di attenuazione.
Analisi spettrale e applicazioni degli analizzatori di spettro a microonde.
Tecniche di misura vettoriale: il riflettometro a sei porte.
Analizzatore vettoriale di reti: analisi del sistema di misura, sorgenti di errore, tecniche di calibrazione, estensione alle onde millimetriche.
Analizzatore scalare di reti: generalità ed applicazioni alla misura di caratteristiche di amplificatori di potenza.
Tecniche di riflettometria nel dominio del tempo: generalità e applicazioni.
La caratterizzazione di dispositivi attivi: caratterizzazione per piccolo segnale e ampio segnale, compressione di guadagno e caratteristiche di intermodulazione.
Le misure di rumore e strumentazione relativa: parametri di rumore di dispositivi attivi e loro misura.
Strumenti di misura di recentissima introduzione, quali il *microwave transition analyzer* e sistemi per misure elettro-ottiche.
Sistemi automatici di misura, strumenti modulari e loro gestione mediante interfaccia IEEE 488.

ESERCITAZIONI
Le esercitazioni di laboratorio verteranno su argomenti specifici trattati nel corso e saranno svolte a gruppi di 4 allievi. Una parte delle esercitazioni sarà svolta sotto forma di tesine sperimentali o teoriche di approfondimento.

BIBLIOGRAFIA
A.E. Bailey (ed.), *Microwave measurement*, Peregrinus (IEE), 1985.
G.H. Bryant, *Principles of microwave measurement*, Peregrinus (IEE).
T.S. Laverghetta, *Modern microwave measurements and techniques*, Artech House, 1988.
M. Sucher, J. Fox (ed.), *Handbook of microwave measurements. Vol. 1-3*, 3rd ed., Press of the Polytechnic Inst. of Brooklin.
P.I. Somlo, J.D. Hunter, *Microwave impedence measurements*, Peregrinus (IEE).
A. Fanton, *Radio frequency and microwave power measurements*, Peregrinus (IEE).

L 3700 Misure su sistemi di trasmissione e telemisure

Anno:periodo 5:2 Prof. Sigfrido Leschiutta (Elettronica)

[NdR: informazioni dettagliate sul corso non pervenute in tempo per la stampa]

L 4360 Propagazione

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 90 esercitazioni 50 (settimanali 6/2)

Prof. Giovanni Emilio Perona (Elettronica)

Il corso intende descrivere i fenomeni fisici che determinano le caratteristiche della propagazione delle onde elettromagnetiche; l'utilizzazione della propagazione stessa per la trasmissione e il reperimento di informazioni (ponti radio, radiodiffusioni, radar) e 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, e visite ad alcuni laboratori.

REQUISITI. È richiesta la conoscenza delle nozioni di elettromagnetismo insegnate nel corso di *Campi elettromagnetici*.

PROGRAMMA
Parte descrittiva.
Bande di frequenza e loro utilizzazione: 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.
Cenni sulle onde piane omogenee e non omogenee.
Espressioni di campo elettromagnetico a grande distanza dalle sorgenti.
Scattering da superfici e da disomogeneità dell'indice di rifrazione.
Parte applicativa.
Propagazione troposferica: indice di rifrazione dell'atmosfera terrestre, equazioni dell'ottica geometrica, *ducting* troposferico, propagazione in presenza di pioggia e nebbia, ...
Propagazione ionosferica: indice di rifrazione nei plasmi, la ionosfera terrestre, effetti sulla propagazione delle onde radio.
Effetti propagativi sui sistemi di telecomunicazione:
- 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
Durante il corso potranno essere effettuate esercitazioni abbastanza complesse di analisi di sistemi specifici (ponti radio, radar) con applicazioni di tipo numerico.

BIBLIOGRAFIA
Verranno posti a disposizione degli allievi gli appunti di lezione del docente.
Libri di utile consultazione sono:
Livingstone, *The physics of microwave propagation*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1970.
Skolnik, *Radar handbook*.
Budden, *The propagation od radiowaves*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1985.

E 4680 Scienza e tecnologia dei materiali polimerici

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 76 esercitazioni 14 (settimanali 8)

Prof. Aldo Priola (Scienza dei materiali e ing. chimica)

PROGRAMMA

Aspetti generali. Legami chimici e strutture molecolari organiche. Stereochimica. Monomeri e reazioni di polimerizzazione.

Struttura e caratterizzazione della macromolecole. Pesi molecolari e loro distribuzione. Forze di coesione intermolecolari, regolarità della struttura, flessibilità della catena polimerica.

Struttura supermolecolare: morfologia dello stato amorfo e cristallino. Reticoli polimerici, densità di reticolazione. Fenomeni di transizione nei polimeri.

Principali tipi di polimeri industriali. Polimeri di policondensazione e poliaddizione. Processi di produzione dei principali polimeri termoplastici, fibre ed elastomeri. Proprietà ed applicazioni.

Proprietà termiche dei polimeri amorfi e cristallini. Fusione e transizione vetrosa, capacità termica, dilatazione, conducibilità.

Proprietà meccaniche. Resistenza a trazione, al taglio, a compressione. Resilienza. Resistenza a fatica. Comportamento visco-elastico dei polimeri. Reologia dei polimeri fusi. Variazione delle proprietà meccaniche con la temperatura. Proprietà dinamo-meccaniche. Comportamento elastico delle gomme.

Proprietà elettriche. Conducibilità, costante dielettrica, fattore di dissipazione. Polimeri semiconduttori e conduttori. Impiego dei polimeri in microelettronica.

Proprietà ottiche. Indice di rifrazione, trasparenza, fluorescenza, fosforescenza.

Additivi e agenti modificanti nei materiali polimerici. Plastificanti, cariche, agenti rinforzanti. Influenza sulle proprietà dei materiali.

Processi di invecchiamento dei polimeri. Reazioni di degradazione. Impiego di agenti stabilizzanti.

Comportamento al fuoco dei materiali polimerici. Additivi antifiamma.

Tecnologie di trasformazione dei polimeri termoplastici: iniezione, estrusione, termoformatura.

Polimeri termoindurenti: tipi di resine e tecnologie di trasformazione.

Tecnologia delle gomme. Polimeri per vernici e adesivi.

Materiali polimerici espansi. Leghe polimeriche. Materiali compositi: tipi di matrici e fibre di rinforzo. Tecnologie di produzione.

Tecnologie di riciclo dei materiali polimerici: smaltimento dei rifiuti plastici.

ESERCITAZIONI.

Sono previste esercitazioni sia sperimentali che di applicazioni numeriche sugli argomenti svolti a lezione. Visite ad impianti di trasformazione delle materie plastiche.

L 4920 Sistemi di telecomunicazione

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

Prof. Mario Pent (Elettronica)

Il corso si propone di presentare, attraverso lo studio di alcuni casi significativi, le metodologie di approccio sistemistico generalmente adottate nel campo delle telecomunicazioni. In particolare verranno esaminati i sistemi radar, i ponti radio numerici e i satelliti per telecomunicazioni. Elemento comune ai vari sistemi presi in esame è l'ambiente operativo (radiopropagazione) caratterizzato da interferenze di varia natura, per cui emergono dominanti i problemi relativi alla coesistenza fra sistemi e allo sfruttamento razionale di risorse condivise.

PROGRAMMA

Sistemi radar primari.
L'equazione del radar; portata; risoluzione in distanza e risoluzione angolare. Funzione di ambiguità. Segnali radar "sofisticati".
Sistemi radar secondari.
Il trasponditore. Equazioni fondamentali. Fenomeni di *garble* e *fruit*.
Ponti radio numerici.
Struttura generale. Caratteristiche dei segnali trasmessi; gerarchie PCM. Fenomeni di propagazione. Interferenze. Distorsioni di non linearità. Valutazioni globali di tasso di errore, qualità della trasmissione e disponibilità.
Sistemi numerici via satellite.
Caratteristiche generali. Accesso multiplo a divisione di tempo (TDMA) e di frequenza (FDMA). Tecniche miste. Rigenerazione a bordo. Criteri di dimensionamento.

BIBLIOGRAFIA

M. Skolnik, *Introduction to radar systems*, McGraw-Hill, 1975.
P. Panter, *Communication systems design*, McGraw-Hill, 1972.
Spilker, *Digital communication satellites*, Prentice Hall, 1977.

L 5260 Strumentazione e misure elettroniche

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 60 laboratori 60 (settimanali 4/4)

Prof. Umberto Pisani (Elettronica)

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).

REQUISITI. Sono date per scontate le conoscenze dei fondamenti della misurazione, della teoria degli errori, e dei metodi e strumenti di base delle misure elettroniche.

PROGRAMMA
L'interfaccia *standard* IEEE 488: generalità, architettura, caratteristiche meccaniche elettriche e funzionali, aspetti operativi e standardizzazione dei codici e formati (*standard* IEEE 488.2).
Strumentazione per sistemi di misura automatici: oscilloscopi digitali e analizzatori di onda: generatori di funzioni, sinusoidali e sintetizzatori; analizzatori logici: analizzatori di reti; analizzatori di spettro; alimentatori programmabili.
Standard CAMAC per strumentazione e controllo di processi.
L'interfaccia seriale HP-IL.
Cenni sul *bus* VME e strumentazione VXI.
L'acquisizione di segnali analogici: caratteristiche e principi di funzionamento dei sensori più diffusi, condizionamento e linearizzazione.
Acquisizione multicanale: aspetti progettuali, circuiti di campionamento e conversione A/D, sorgenti di incertezze, di disturbi e tecniche per la riduzione degli effetti, disposizione delle masse.
Schede multifunzionali di I/O per segnali analogici e digitali su *personal computer*.
Sistemi automatici di collaudo di schede elettroniche: generalità, strategie di collaudo e tecniche adottate, architetture.

ESERCITAZIONI.
Le esercitazioni di laboratorio saranno svolte a gruppi di 4 allievi e avranno le caratteristiche di una tesina, compatibilmente col numero di iscritti al corso. Riguardano la realizzazione di programmi per la gestione di strumenti e banchi di misura.

BIBLIOGRAFIA
S. Pirani, *Sistemi automatici di misura e acquisizione dati IEEE 488.1*. Esculapio, Bologna 1990.
Edelektron (ed.), *Metodi di interfacciamento*.
M.G. Mylroi, G. Calvert, *Measurement and instrumentation for control*, Peregrinus (IEE).

L 5870 Teoria dell'informazione e codici

Anno:periodo 5:2 Impegno (ore): lezioni 84 (settimanali 6)

Prof. Michele Elia (Elettronica)

Il corso si propone di presentare una sintesi delle basi assiomatiche e dei metodi algebrici utilizzati per una descrizione formale dei principi della trasmissione e della elaborazione dell'informazione. Il corso consta di due parti metodologicamente diverse: la prima parte presenta la teoria matematica della misura di informazione; la seconda parte espone la teoria dei codici per il controllo degli errori.

REQUISITI. È indispensabile una buona conoscenza dei corsi di *Teoria dei segnali* e di *Comunicazioni elettriche*.

PROGRAMMA
Misura dell'informazione ed entropia.
Teoremi fondamentali su natura e processamento dell'informazione.
Sorgenti di informazione, il teorema della codifica di sorgente, particolari codici di sorgente.
Modello matematico di canale e calcolo della capacità.
Teorema della codifica di canale.
Teoria dei codici a blocco, decodifica algebrica e calcolo delle prestazioni sul canale binario simmetrico.
Complessità computazionale dei decodificatori e dei decodificatori.
Crittografia nella trasmissione dell'informazione.

BIBLIOGRAFIA
R.J. McEliece, *The theory of information and coding*, Addison-Wesley, Reading (Mass.), 1977.
F.J. MacWilliams, N.J.A. Sloane, *The theory of error-correcting codes*, Elsevier, New York, 1976.
H. van Tilborg, *An introduction to cCryptology*, Kluwer, Boston, 1988.
R.E. Blahut, *Theory and practice of error control codes*, Addison-Wesley, Reading (Mass.), 1983.
A. Borodin, I. Munro, *The computational complexity of algebraic and numeric problems*, Elsevier, New York, 1975.

Indice alfabetico degli insegnamenti

pag.		*corso* *[anno:periodo]*
88	L0220	Analisi funzionale [5:2]
23	L0231	Analisi matematica 1 [1:1]
28	L0232	Analisi matematica 2 [2:1]
31	L0234	Analisi matematica 3 (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:2]
44	L0270	Antenne [4:1]
66	L0300	Architetture dei sistemi integrati [5:1]
67	P0350	Automazione a fluido [5:1]
68	L0370	Automazione industriale [5:1]
89	H0380	Azionamenti elettrici [5:2]
90	N0390	Azionamenti elettrici per l'automazione [5:2]
32	L0494	Calcolo delle probabilità (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:2]
35	L0510	Calcolo numerico [3:1]
39	L0531	Campi elettromagnetici 1 [3:2]
91	L0532	Campi elettromagnetici 2 [5:2]
24	L0620	Chimica [1:1]
91	L0760	Compatibilità elettromagnetica [5:2]
45	L0770	Componenti e circuiti ottici [4,5:1]
56	L0801	Comunicazioni elettriche (generale) [4:2]
57	L0802	Comunicazioni elettriche (speciale) [4:2]
58	L0841	Controlli automatici (generale) [4:2]
59	L0842	Controlli automatici (speciale) [4:2]
68	L0850	Controllo dei processi [5:1]
92	L0870	Controllo digitale [5:2]
69	B1250	Dinamica del volo [5:1]
32	L1441	Dispositivi elettronici 1 [2:2]
60	L1442	Dispositivi elettronici 2 [4,5:2]
70	L1500	Economia e gestione dei servizi [5:1]
92	L1510	Economia e gestione dell'innovazione [5:2]
46	L1531	Economia ed organizzazione aziendale 1 [4:1]

61	L1532	Economia ed organizzazione aziendale 2 [4:2]
70	L1530	Economia ed organizzazione aziendale [5:1]
93	L1570	Elaborazione di dati e segnali biomedici [5:2]
46	L1590	Elaborazione numerica dei segnali [4:1]
40	L1710	Elettronica applicata [3:2]
61	L1730	Elettronica dei sistemi digitali [4,5:2]
62	L1740	Elettronica delle telecomunicazioni [4:2]
71	L1760	Elettronica di potenza [5:1]
72	L1770	Elettronica industriale di potenza [5:1]
94	L1780	Elettronica quantistica [5:2]
29	L1790	Elettrotecnica [2:1]
25	L1901	Fisica 1 [1:2]
30	L1902	Fisica 2 [2:1]
95	L2000	Fisica dello stato solido [5:2]
73	L2030	Fisica matematica [5:1]
73	L2150	Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica [5:1]
26	L2170	Fondamenti di informatica [1:2]
27	L2300	Geometria [1:2]
74	N2630	Impianti di elaborazione [5:1]
75	N2850	Informatica grafica [5:1]
96	L2860	Informatica industriale [5:2]
63	N2941	Ingegneria del software 1 [4:2]
96	N3000	Intelligenza artificiale [5:2]
76	L3050	Istituzioni di meccanica quantistica [5:1]
47	L3130	Macchine elettriche [4:1]
33	L3214	Meccanica applicata alle macchine (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:2]
77	P3280	Meccanica dei robot [5:1]
48	B3300	Meccanica del volo [4:1]
64	N3460	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo [4:2]
98	L3560	Microelettronica [5:2]
49	L3570	Microonde [4:1]
99	L3620	Misure a iperfrequenze [5:2]
50	L3670	Misure elettroniche [4:1]
78	L3690	Misure per l'automazione e la produzione industriale [5:1]
99	L3700	Misure su sistemi di trasmissione e telemisure [5:2]
79	L3790	Modellistica e controllo dei sistemi ambientali [5:1]

51	L3800	Modellistica e identificazione [4,5:1]
64	L3870	Optoelettronica [4,5:2]
100	L4360	Propagazione [5:2]
65	N4520	Reti di calcolatori [4:2]
52	F4530	Reti di telecomunicazioni [4:1]
53	L4540	Reti logiche [4:1]
54	L4550	Ricerca operativa [4,5:1]
80	L4580	Robotica industriale [5:1]
101	E4680	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici [5:2]
81	L4700	Sensori e trasduttori [5:1]
81	F4850	Sistemi di commutazione [5:1]
82	L4900	Sistemi di radiocomunicazione [5:1]
102	L4920	Sistemi di telecomunicazione [5:2]
41	L5011	Sistemi informativi 1 [3:2]
42	L5012	Sistemi informativi 2 [3,4,5:2]
83	N5050	Sistemi per la progettazione automatica [5:1]
103	L5260	Strumentazione e misure elettroniche [5:2]
84	L5404	Superconduttività (corso ridotto, 1/2 annualità) [5:1]
85	P5640	Tecnologia meccanica [5:1]
86	L5690	Tecnologie e materiali per l'elettronica [5:1]
87	L5750	Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica [5:1]
36	L5770	Teoria dei circuiti elettronici [3:1]
37	L5800	Teoria dei segnali [3:1]
38	L5811	Teoria dei sistemi (continui) [3:1]
43	L5812	Teoria dei sistemi (discreti) [3:2]
104	L5870	Teoria dell'informazione e codici [5:2]
34	L5954	Termodinamica applicata (corso ridotto, 1/2 annualità) [2:2]
55	F6040	Trasmissione numerica [4:1]

Indice alfabetico dei docenti

pag.	*Docente*	*corso*	*[anno:periodo]*
52	Ajmone Marsan, Marco (Elettronica)	F4530	Reti di telecomunicazioni [4:1]
56	Albertengo, Guido (Elettronica)	L0801	Comunicazioni elettriche (generale) [4:2]
81	=	F4850	Sistemi di commutazione [5:1]
94	Allia, Paolo (Fisica)	L1780	Elettronica quantistica [5:2]
24	Angelini, Emma (Chimica)	L0620	Chimica [1:1]
73	Arri, Ernesto (Autom. inform.)	L2150	Fondamenti della misurazione e metrologia generale elettrica [5:1]
23	Ascoli, Renato (Matematica)	L0231	Analisi matematica 1 [1:1]
28	Bacciotti, Andrea (Matematica)	L0232	Analisi matematica 2 [2:1]
35	Baratella, Paola (Matematica)	L0510	Calcolo numerico [3:1]
25	Barbero, Giovanni (Fisica)	L1901	Fisica 1 [1:2]
49	Bava, Gian Paolo (Elettronica)	L3570	Microonde [4:1]
86	=	L5690	Tecnologie e materiali per l'elettronica [5:1]
36	Beccari, Claudio (Elettronica)	L5770	Teoria dei circuiti elettronici [3:1]
67	Belforte, Guido (Meccanica)	P0350	Automazione a fluido [5:1]
73	Bellomo, Nicola (Matematica)	L2030	Fisica matematica [5:1]
55	Benedetto, Sergio (Elettronica)	F6040	Trasmissione numerica [4:1]
46	Biglieri, Ezio (Elettronica)	L1590	Elaborazione numerica dei segnali [4:1]
47	Boglietti, Aldo (Ing. elettrica)	L3130	Macchine elettriche [4:1]
28	Boieri, Paolo (Matematica)	L0232	Analisi matematica 2 [2:1]
80	Bona, Basilio (Autom. inform.)	L4580	Robotica industriale [5:1]
26	Bruno, Giorgio (Autom. inform.)	L2170	Fondamenti di informatica [1:2]
63	=	N2941	Ingegneria del software 1 [4:2]
76	Buzano, Carla (Fisica)	L3050	Istituzioni di meccanica quantistica [5:1]
46	Buzzacchi, Luigi (Sist. produzione)	L1531	Economia ed organizzazione aziendale 1 [4:1]
58	Canuto, Enrico (Elettronica)	L0841	Controlli automatici (generale) [4:2]
68	Carlucci, Donato (Autom. inform.)	L0850	Controllo dei processi [5:1]
57	Castellani, Valentino (Elettronica)	L0802	Comunicazioni elettriche (speciale) [4:2]
27	Chiarli, Nadia (Matematica)	L2300	Geometria [1:2]
65	Ciminiera, Luigi (Autom. inform.)	N4520	Reti di calcolatori [4:2]

66	Civera, Pierluigi (Elettronica)	L0300	Architetture dei sistemi integrati [5:1]
36	=	L5770	Teoria dei circuiti elettronici [3:1]
91	Daniele, Vito (Elettronica)	L0532	Campi elettromagnetici 2 [5:2]
91	=	L0760	Compatibilità elettromagnetica [5:2]
29	=	L1790	Elettrotecnica [2:1]
50	De Marchi, Andrea (Elettronica)	L3670	Misure elettroniche [4:1]
81	=	L4700	Sensori e trasduttori [5:1]
62	Del Corso, Dante (Elettronica)	L1740	Elettronica delle telecomunicazioni [4:2]
24	Delmastro, Alessandro (Chimica)	L0620	Chimica [1:1]
104	Elia, Michele (Elettronica)	L5870	Teoria dell'informazione e codici [5:2]
33	Ferraresi, Carlo (Meccanica)	L3214	Meccanica applicata alle macchine (1/2) [2:2]
78	Ferraris, Franco (Elettronica)	L3690	Misure per l'automazione e la produzione industriale [5:1]
25	Filisetti Borello, Ottavia (Fisica)	L1901	Fisica 1 [1:2]
64	Fiorio, Giovanni (Autom. inform.)	N3460	Metodi di ottimizzazione nei sistemi di controllo [4:2]
74	Gai, Silvano (Autom. inform.)	N2630	Impianti di elaborazione [5:1]
48	Gili, Piero (Aeronautica)	B3300	Meccanica del volo [4:1]
53	Gilli, Luigi (Autom. inform.)	L4540	Reti logiche [4:1]
29	Graglia, Roberto (Elettronica)	L1790	Elettrotecnica [2:1]
27	Greco, Silvio (Matematica)	L2300	Geometria [1:2]
98	Gregoretti, Francesco (Elettronica)	L3560	Microelettronica [5:2]
75	Laurentini, Aldo (Autom. inform.)	N2850	Informatica grafica [5:1]
41	=	L5011	Sistemi informativi 1 [3:2]
50	Leschiutta, Sigfrido (Elettronica)	L3670	Misure elettroniche [4:1]
99	=	L3700	Misure su sistemi di trasmissione e telemisure [5:2]
37	Lo Presti, Letizia (Elettronica)	L5800	Teoria dei segnali [3:1]
34	Lombardi, Carla (Energetica)	L5954	Termodinamica applicata (1/2) [2:2]
40	Maddaleno, Franco (Elettronica)	L1710	Elettronica applicata [3:2]
71	=	L1760	Elettronica di potenza [5:1]
51	Mauro, Vito (Autom. inform.)	L3800	Modellistica e identificazione [4,5:1]
24	Mazza, Daniele (Chimica)	L0620	Chimica [1:1]
59	Menga, Giuseppe (Autom. inform.)	L0842	Controlli automatici (speciale) [4:2]
26	Meo, Angelo Raffaele (Autom. inform.)	L2170	Fondamenti di informatica [1:2]
96	Mezzalama, Marco (Autom. inform.)	L2860	Informatica industriale [5:2]
38	Milanese, Mario (Autom. inform.)	L5811	Teoria dei sistemi (continui) [3:1]

30	Minetti, Bruno (Fisica)	L1902	Fisica 2 [2:1]
35	Monegato, Giovanni (Matematica)	L0510	Calcolo numerico [3:1]
32	Montrosset, Ivo (Elettronica)	L1441	Dispositivi elettronici 1 [2:2]
64	=	L3870	Optoelettronica [4,5:2]
69	Morelli, Piero (Aeronautica)	B1250	Dinamica del volo [5:1]
79	Muratori, Simona (Autom. inform.)	L3790	Modellistica e controllo dei sistemi ambientali [5:1]
32	Naldi, Carlo (Elettronica)	L1441	Dispositivi elettronici 1 [2:2]
60	=	L1442	Dispositivi elettronici 2 [4,5:2]
82	Nano, Ermanno (Elettronica)	L4900	Sistemi di radiocomunicazione [5:1]
30	Omini, Marco (Fisica)	L1902	Fisica 2 [2:1]
44	Orefice, Mario (Elettronica)	L0270	Antenne [4:1]
39	Orta, Renato (Elettronica)	L0531	Campi elettromagnetici 1 [3:2]
45	=	L0770	Componenti e circuiti ottici [4,5:1]
88	Pandolfi, Luciano (Matematica)	L0220	Analisi funzionale [5:2]
61	Pasero, Eros (Elettronica)	L1730	Elettronica dei sistemi digitali [4,5:2]
102	Pent, Mario (Elettronica)	L4920	Sistemi di telecomunicazione [5:2]
100	Perona, Giovanni Emilio (Elettronica)	L4360	Propagazione [5:2]
87	=	L5750	Telerilevamento e diagnostica elettromagnetica [5:1]
32	Piazzese, Franco (Matematica)	L0494	Calcolo delle probabilità (1/2) [2:2]
26	Piccolo, Elio (Autom. inform.)	L2170	Fondamenti di informatica [1:2]
96	=	N3000	Intelligenza artificiale [5:2]
99	Pisani, Umberto (Elettronica)	L3620	Misure a iperfrequenze [5:2]
103	=	L5260	Strumentazione e misure elettroniche [5:2]
40	Pozzolo, Vincenzo (Elettronica)	L1710	Elettronica applicata [3:2]
83	Prinetto, Paolo (Autom. inform.)	N5050	Sistemi per la progettazione automatica [5:1]
101	Priola, Aldo (Chimica)	E4680	Scienza e tecnologia dei materiali polimerici [5:2]
89	Profumo, Francesco (Ing. elettrica)	H0380	Azionamenti elettrici [5:2]
70	Prosperetti, Luigi (Sist. produzione)	L1530	Economia ed organizzazione aziendale [5:1]
33	Raparelli, Terenziano (Meccanica)	L3214	Meccanica applicata alle macchine (1/2) [2:2]
84	Rasetti, Mario (Fisica)	L5404	Superconduttività (1/2) [5:1]
23	Ricci, Fulvio (Matematica)	L0231	Analisi matematica 1 [1:1]
41	Rivoira, Silvano (Autom. inform.)	L5011	Sistemi informativi 1 [3:2]
77	Romiti, Ario (Meccanica)	P3280	Meccanica dei robot [5:1]
42	Serra, Angelo (Autom. inform.)	L5012	Sistemi informativi 2 [3,4,5:2]

25	Strigazzi, Alfredo (Fisica)	L1901	Fisica 1 [1:2]
23	Tabacco, Anita (Matematica)	L0231	Analisi matematica 1 [1:1]
54	Tadei, Roberto (Autom. inform.)	L4550	Ricerca operativa [4,5:1]
95	Tagliaferro, Alberto (Fisica)	L2000	Fisica dello stato solido [5:2]
31	Teppati, Giancarlo (Matematica)	L0234	Analisi matematica 3 (1/2) [2:2]
68	Tornambè, Antonio (Autom. inform.)	L0370	Automazione industriale [5:1]
43	=	L5812	Teoria dei sistemi (discreti) [3:2]
90	Vagati, Alfredo (Ing. elettrica)	N0390	Azionamenti elettrici per l'automazione [5:2]
92	Vallauri, Maurizio (Autom. inform.)	L0870	Controllo digitale [5:2]
72	Villata, Franco (Ing. elettrica)	L1770	Elettronica industriale di potenza [5:1]