

# **Ing. Elettronica/S**

**Disciplina:** N190ELS **AFFIDABILITA' E CONTROLLO DI QUALITA'** ING-INF/07

**I**

**Corso di Studio:** ELS IEL **Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** CATELANI MARCANTONIO P1 ING-INF/07 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

PARTE INTRODUTTIVA - Cenni su normazione, certificazione e accreditamento. Conformità, affidabilità, manutenibilità e disponibilità (fidatezza), qualità: evoluzione temporale dei concetti e relative definizioni (Norme UNI EN ISO 9000:2000, CEI 56-50).

### 1. AFFIDABILITÀ E DISPONIBILITÀ

Guasto, avaria e loro classificazione. Funzioni di affidabilità, distribuzione sperimentale dei guasti, tasso istantaneo di guasto, parametri di affidabilità: MTTF, MTBF, MTTR. Affidabilità combinatoria: configurazioni serie, parallelo, stand-by, r su n, mista. Cenni su affidabilità di configurazioni complesse. Banche dati (MIL-HDBK 217 ed altre) e predizione di affidabilità per apparati elettronici: metodi del part count e del part stress. Analisi di affidabilità di sistemi complessi: metodi induttivi e deduttivi, analisi dei modi e degli effetti di guasto (FMEA) e della loro criticità (FMECA), analisi dell'albero dei guasti (FTA) - cenni. Tecniche di incremento dell'affidabilità.

### 2. QUALITÀ, CONTROLLO E MIGLIORAMENTO

Controllo di qualità: controllo di prodotto e di processo, tolleranza naturale e di specifica. Controllo di qualità in-linea, carte di controllo (carta della media e del range), diagramma di Pareto, diagramma causa-effetto. Controllo statistico di processo. Analisi della variabilità aleatoria e sistematica. Analisi di capacità di processo. Processi centrati e non centrati. Indici di capacità e di performance. Distribuzione normale e determinazione della percentuale di prodotti non conformi. Tecniche di miglioramento dei processi.

### 3. CERTIFICAZIONE

Certificazione di prodotto, organismi di certificazione, marchi di qualità. Certificazione dei sistemi qualità aziendali. Assicurazione della qualità, Norme UNI ISO 9000:2000. Manuale della qualità, procedure generali e procedure di dettaglio. Iter di certificazione. Organismi di certificazione e federazioni (CISQ, IQNet). Direttive europee, concetto di requisiti essenziali. Marcatura CE. Sicurezza. Organismi di accreditamento (SINAL, SINCERT).

### ATTIVITÀ DI LABORATORIO ED ESERCITAZIONI

L'attività di laboratorio riguarda argomenti specifici trattati nel corso ed è strutturata per Gruppi di lavoro.

**Disciplina:** N741ELS **AFFIDABILITA' E CONTROLLO DI QUALITA'** ING-INF/07  
**II**

**Corso di Studio:** ELS **Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** CATELANI MARCANTONIO P1 ING-INF/07 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

### 1. AFFIDABILITÀ SPERIMENTALE

Richiami su elementi di base di affidabilità e disponibilità.

Concetti di guasto, avaria e loro classificazione. Analisi di disponibilità e processi markoviani, Definizione e valutazione di SIL (Safety Integrity Level) per apparati elettronici

Concetti di sollecitazione, sforzo e resistenza nei materiali. Meccanismi di guasto e relative classificazioni. Corpi duttili e fragili, curva tensione-deformazione. Deformazioni elastiche e deformazioni plastiche. Fenomeni di diffusione: reticolare, per dislocazioni, per contorni granulari. Leggi della diffusione di Fick e collegamento con il modello di degradazione di Arrhenius; diffusione metallo-metallo; fenomeno della "peste rossa". Guasti per sollecitazioni esterne nei semiconduttori. EOS ed ESD: cause, conseguenze, modelli e protezioni.

Prove di affidabilità: classificazione, profili, severità, normativa di riferimento. Tecniche di burn-in e prove ESS.

Attrezzature di prova: accelerometri, termocoppie, camere climatiche, piatto vibrante, forno. Sistemi automatici per la gestione delle prove. Distribuzione di guasto, distribuzione di Weibull e analisi statistica dei risultati di prova. Failure analysis, indagini preliminari e preparazione del campione. Tecniche e strumenti di analisi dei guasti.

Diagnosi di guasto e protocolli di test.

### 2. QUALITÀ, CONTROLLO E MIGLIORAMENTO

Richiami su variabilità di processo e misure di conformità.

Inferenza statistica: stimatori e loro proprietà (correttezza, consistenza e coerenza); stima puntuale e per intervallo; stima del valore medio della popolazione nei casi di varianza nota e varianza incognita.

D.O.E. (Design f Experiment): concetti introduttivi, fattori principali e di disturbo, piani fattoriali e studio delle interazioni tra fattori.

### ATTIVITÀ DI LABORATORIO ED ESERCITAZIONI

L'attività di laboratorio riguarda argomenti specifici trattati nel corso ed è strutturata per Gruppi di lavoro.

**Disciplina:** N094ELS ANALISI MATEMATICA III

MAT/05

**Corso di Studio:** ELS IEL IDT TES MAS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** MARINI MAURO

P1 MAT/05

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

PROGRAMMA del corso di ANALISI MATEMATICA III - A.A. 2007/08

(Laurea "breve" in Ing. Elettronica e Telecomunicazioni. Laurea Spec. Ele+TLC+Ing. Mat.)

#### 1) COMPLEMENTI SULLA TRASFORMATA DI FOURIER.

Richiami sul concetto di norma. Relazioni tra spazi metrici e normati. Esempi: gli spazi  $L_1$  e  $L_2$ . La trasformata di Fourier in  $L_1$ . Proprietà: smorzamento, traslazione, omotetia, moltiplicazione, derivazione. Convergenza a zero della trasformata e applicazioni alla trasmissione di segnali. Il teorema di Plancherel. La trasformata di Fourier in  $L_2$  e conseguenze. La proprietà di simmetria e applicazioni.

#### 2) FUNZIONI DI TRASFERIMENTO E ANTITRASFORMATE

Il ruolo della trasformata di Laplace nell'analisi e sintesi di reti elettriche. La trasformata di Laplace per funzioni di classe "Lamda". Relazione con la trasformata di Fourier. Il prodotto di convoluzione. Funzioni di trasferimento e funzioni razionali. Il lemma di Jordan. Le formule di inversione di Riemann-Fourier e di Bromwich-Mellin. Calcolo dell'antitrasformata di Fourier e di Laplace nel caso razionale.

#### 3) APPLICAZIONI ALLE EQUAZIONI DIFFERENZIALI

Richiami sulle proprietà delle soluzioni di equazioni differenziali lineari. Esempi di studio qualitativo: l'equazione monodimensionale di Schroedinger nell'elettronica quantistica. Il problema delle dinamiche oscillatorie. I teoremi di Sturm e di Leighton. L'equazione differenziale di Bessel. Le funzioni di Bessel di prima e di seconda specie. La funzione Gamma Euleriana e sue proprietà. Cenno sulle funzioni di Hankel. Formule di ricorrenza.

#### 4) DISTRIBUZIONI

Introduzione euristica alla "funzione" delta. Le distribuzioni come funzionali lineari e continui. Proprietà della distribuzione delta; Prodotto di distribuzioni. Derivata nel senso delle distribuzioni. Funzioni a decrescenza rapida. Distribuzioni temperate. La trasformata di Fourier nel senso delle distribuzioni. Trasformate di Fourier di distribuzioni elementari. Cenno sulla distribuzione v.p.  $(1/t)$ . Trasformate di Laplace di distribuzioni. Il caso razionale.

**Disciplina:** 000045     **ANTENNE I**

ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5     **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** PELOSI GIUSEPPE

P1     ING-INF/02

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

- \* Elementi di teoria della radiazione e parametri fondamentali delle antenne
- \* Formulazione integrale di problemi elettromagnetici
- \* Soluzione numerica di problemi elettromagnetici formulati in termini di una Integral Equation
- \* Antenne Filari, antenne a onda progressiva
- \* Antenne ad Apertura (antenne a slot, guide d'onda aperte, antenne a horn)
- \* Antenne a riflettore (riflettore singolo, doppio e multiplo)
- \* Antenne a Larga Banda (antenne autoscalate, autocomplementari, a regione attiva e non)
- \* Antenne ad Array lineari e planari (analisi e sintesi con metodi diretti)

**Disciplina:** 000046     **ANTENNE II**

ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5     **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** PELOSI GIUSEPPE

P1     ING-INF/02

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

- \* Metodi a bassa frequenza (Metodo dei Momenti)
- \* Metodi ad alta frequenza (Optica Geometrica, teoria uniforme della diffrazione, Optica Fisica, teoria fisica della diffrazione)
- \* Metodi di installazione di antenna, interazione fra antenne vicine
- \* Sezione equivalente radar di bersagli
- \* Antenne a riflettore per radioastronomia e telecomunicazioni
- \* Tecniche di ottimizzazione numerica per antenne (array, antenne a horn)
- \* Antenne per applicazioni di radioastronomia
- \* Antenne per radiocomunicazioni: criteri di scelta e normativa

**Disciplina:** S253ELS    **APPLICAZIONI DI MATEMATICA**

MAT/05

**Corso di Studio:** ELS    IEL

**Crediti:** 5    **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** MARINI MAURO

P1    MAT/05

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Programma del corso di APPLICAZIONI DI MATEMATICA

A.A. 2007-2008

#### 1) RICHIAMI SUI NUMERI COMPLESSI

Forma algebrica, forma trigonometrica, forma esponenziale. Leggi di De Moivre. Equazioni algebriche e radici. L'esponenziale in campo complesso e proprietà. Le funzioni trigonometriche e le formule di Eulero. Il logaritmo in campo complesso. Risolubilità di equazioni esponenziali

#### 2) FUNZIONI COMPLESSE

Funzioni complesse come trasformazioni piane. Continuità e derivabilità. Formule di Cauchy-Riemann. Funzioni analitiche e funzioni armoniche. Ricostruzione di funzioni analitiche. Teorema dell'unicità dell'estensione analitica. Integrale in campo complesso. Teorema di Cauchy e conseguenze. Sviluppabilità in serie di potenze di funzioni analitiche. Alcuni sviluppi notevoli [esponenziale, seno, coseno,  $(1-s)^{-1}$ ]. Serie di Laurent. Classificazione delle singolarità. Singolarità eliminabili, polari, essenziali e loro caratterizzazione. Il Teorema di Castrati. Zeri di funzioni analitiche. Funzioni analitiche e limitate: i teoremi di Liouville e di D'Alembert. Il concetto di Residuo al finito. Primo teorema dei Residui e calcolo di Residui. Serie di Laurent all'infinito. Residuo all'infinito e Secondo Teorema dei Residui. Calcolo di integrali in campo complesso.

#### 3) TRASFORMATA DI LAPLACE e FUNZIONI DI TRASFERIMENTO

Sistemi fisici e modelli matematici: esempi. Le funzioni di trasferimento e funzioni di rete. Funzioni di classe  $\lambda$  e ascissa di convergenza. La trasformata di Laplace. Proprietà della derivazione e integrazione. La trasformata di Laplace nell'analisi e sintesi di reti elettriche passive.

#### 4) FUNZIONI R.P.

Richiami sull'algebra dei polinomi. Test di Routh-Hurwitz. Funzioni reali positive razionali. Proprietà. Il test "delle 4 condizioni" e il criterio di Talbot. Il caso dispari. Circuiti RCL passivi in serie e in parallelo. Impedenza e ammettenza complesse: esempi di sintesi.

#### 5) TRASFORMATA ZETA E APPLICAZIONI

Richiami sulle serie di potenze. Campionamento di segnali. Raggio di convergenza. Trasformata Zeta. Trasformate di campionamenti elementari. Le proprietà dello smorzamento, della "moltiplicazione per  $n$ ", della traslazione. Campionamenti periodici. La convoluzione discreta. Antitrasformata Zeta e calcolo nel caso razionale. Le proprietà del valore iniziale e finale. L'approccio ricorsivo. Cenno sulla trasformata Zeta nell'analisi di sistemi tempo-discreti e nella trasmissione di segnali.

**Disciplina:** 000367      **CAD PER SISTEMI ELETTROMAGNETICI**      ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS      N191IEL      **Crediti:** 5      **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** SELLERI STEFANO      RC      ING-INF/02      **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Introduzione:

- \* Inquadramento del problema elettromagnetico;
- \* Definizione di metodo numerico;
- \* Classificazione dei vari possibili metodi numerici.

Metodi finiti:

- \* Differenze Finite nel dominio del tempo;
- \* Differenze finite ne dominio della frequenza;
- \* Elementi finiti;
- \* Metodo della matrice di linee di trasmissione.

Metodi Integrali:

- \* Metodo dei momenti;
- \* Metodo del Mode Matching.

Il corso comprende numerose ore di utilizzo pratico dei metodi numerici trattati nella parte teorica presso i laboratori informatici.

- 
- [1] Concetti generali riguardanti circuiti integrati a microonde: MMIC.
  - [2] Concetti fondamentali, espressione della nonlinearietà nei componenti circuitali passivi e attivi a microonde. Nonlinearità a due e tre terminali.
  - [3] Sviluppo in serie di potenze e serie di Volterra di una nonlinearietà e prodotti; intermodulazione, fenomeni di compressione e punto di intercetta di ordine n.
  - [4] Metodo del Bilanciamento Armonico, principi generali, trattazione teorica ed esempi di applicazioni a reti contenenti dispositivi a semiconduttore. Metodi di soluzione e di ottimizzazione.
  - [5] Amplificatori a microonde per applicazioni wireless in tecnologia MMIC. Configurazioni base per applicazioni generiche a piccolo segnale. Reti a più transistori a BJT e FET. Amplificatori a guadagno variabile, moltiplicatore di Gilbert.
  - [6] Esempi di progetto di amplificatori generici e a bassa cifra di rumore mediante dispositivi in package commerciali (MESFET ed HEMT serie ATF prodotti da HP-Agilent). Realizzazione di un prototipo di laboratorio.
  - [7] Amplificatori a bassa cifra di rumore, adattamento ottimo, prestazioni e parametri fondamentali. LNA in tecnologia MMIC
  - [8] Amplificatori di potenza, classi in uso in ambiente ibrido. Efficienza e linearità di un amplificatore di potenza: tecniche per il miglioramento della efficienza e linearità.
  - [9] Conversione di frequenza. Principio di funzionamento mediante elementi nonlineari, teoria dell'analisi piccolo-segnale/grande-segnale, matrice di conversione. Mixer a singolo diodo, mixer bilanciati e doppiamente bilanciati. Utilizzo di ibridi a costanti concentrate. Mixer per impieghi speciali: reiezione della frequenza immagine.
  - [10] Esempi di progetto di mixers mediante dispositivi in package commerciali (MESFET ed HEMT serie ATF prodotti da HP-Agilent).
  - [11] Mixer a FET, pompato di drain e di gate, mixer resistivi a doppio gate. Cella di Gilbert a BJT e FET, mixer doppiamente bilanciato.
  - [12] Modulazioni vettoriali mediante cella di Gilbert. Modulari digitali del tipo BPSK, QPSK e QAM. Capacità di canale e banda passante.
  - [13] Sinterizzazione del segnale a microonde, tecniche e caratteristiche. Oscillatori a microonde.
  - [14] Oscillatori a retroazione di Hartley e Colpitts e oscillatori a riflessione a costanti concentrate e distribuite. Oscillatori a dielettrico. VCO, Voltage Controlled Oscillator.
  - [15] Progetto e realizzazione di un prototipo da laboratorio di VCO basato su BJT HP-Agilent: AT-41411, in tecnologia ibrida.
  - [16] Sistemi ad aggancio di fase (PLL), caratteristiche e principio di funzionamento. Tecniche di analisi e progetto del filtro di anello, comparatore di fase, divisore di frequenza.
  - [17] Cenni allo studio di sistema per un ricetrasmittitore a microonde.

**Disciplina:** 12554788 **CIRCUITI INTEGRATI PER APPLICAZIONI** ING-INF/01  
**WIRELESS**

**Corso di Studio:** ELS IEL **Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** COLLODI GIOVANNI RL ING-INF/01 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

- Introduzione alla tecnologia wireless
- Concetti alla base delle progettazioni di un sistema wireless
- Descrizioni di alcune applicazioni Wireless
- Differenze fra sistemi analogici e digitali.
- Introduzione al concetto delle non linearità.
- Interferenze intersimboliche.
- Processi random.
- Rumore.
- Sensibilità di un ricevitore.
- Range e dinamica di un ricevitore e di un trasmettitore.
- Modulazione e demodulazione.
- Modulazioni analogiche.
- Modulazione di ampiezza.
- Modulazione di fase.
- Modulazione di frequenza.
- Modulazioni digitali.
- Modulazioni binarie.
- Modulazioni quaternarie.
- Efficienza degli schemi di modulazione.
- Segnali ad inviluppo costante.
- Segnali ad inviluppo variabile.
- Tecniche di accesso multiplo.
- Duplexing a divisione di frequenza e di tempo.
- Accesso multiplo a divisione di tempo.
- Accesso multiplo a divisione di frequenza.
- Accesso multiplo a divisione di codice.
- Caratteristiche delle comunicazioni mobili di tipo RF.
- Transceiver FSK per applicazioni a 433 MHz e 866 MHz: Architettura, Prestazioni, Codifica Manchester.
- Introduzione alle WSN.
- Individuazione dei requisiti utente.
- Individuazione delle specifiche.
- Disegno di una WSN.
- Applicazioni basate su WSN.
- Standard IEEE 802.15.4
- Standard ZigBee
- Caratteristiche e applicazioni
- La sicurezza nello standard.
- Transceiver per standard 802.15.4: Architettura e Caratteristiche, Prestazioni, Interfacciamento con Microcontrollori
- Transceiver di ultima generazione multimodulazione: Architetture, Caratteristiche, Interfacciamento con microcontrollori
- WSN basate sullo standard Zig Bee.
- Architetture e applicazioni.
- System On a Chip.
- Moduli Integranti Transceiver e microcontrollori.
- Vantaggi e svantaggi nell'utilizzo dei SOC.
- SOC presenti sul Mercato
- Microcontrollori per applicazioni wireless
- Confronto fra differenti famiglie di Microcontrollori
- Configurazioni RISC 16 Bit

**Disciplina:** 00000000 COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA I

ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS IEL, IDT

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** SELLERI STEFANO

RC ING-INF/02

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

•INTRODUZIONE

- o L'ambiente elettromagnetico
- o Unità di Misura del campo elettromagnetico.
- o Compatibilità elettromagnetica (EMC) e le problematiche di interferenza elettromagnetica (EMI).
- o Immunità e suscettibilità EM.

•SORGENTI DI INTERFERENZA EM

- o Disturbi condotti e disturbi radiati.
- o Disturbi a banda larga e a banda stretta.
- o Disturbi coerenti e incoerenti.
- o Definizione di banda equivalente impulsiva.
- o Caratterizzazione spettrale delle principali sorgenti di interferenza condotta e radiata.
- o Disturbi EM impulsivi: scarica elettrostatica (ESD), fulminazione, impulso elettromagnetico nucleare (NEMP).

•SCHERMI ELETTROMAGNETICI

- o Schermi metallici continui. Efficienza di schermaggio.
- o Schermi multistrato.
- o Schermi sottili.
- o Aperture in schermi metallici. Schermi discontinui: reti, superfici metalliche forate, fessure, guarnizioni.
- o Schermi ferromagnetici.

•LINEE DI TRASMISSIONE MULTICONDOTTORE

- o Modelli circuitali per l'analisi dell'accoppiamento EM.
- o cavi schermati dotati di conduttori semplici o intrecciati.
- o Sistemi per la limitazione di disturbi condotti
- o Messa a terra di sistemi elettronici.

•EMC IN AMBIENTI COMPLESSI

- o Il fenomeno del Multipath
- o Valutazione della distribuzione di campo EM in ambienti complessi mediante tecniche ad alta frequenza.

•ANTENNE

- o Sensori per misure di campi EM (Sonda isotropa, Biconica, log-periodica)
- o Sistemi per l'adattamento di impedenza (Balun)

•CENNI DI NORMATIVE

**Disciplina:** N742ELS    **COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA II**    ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS    TES    **Crediti:** 5    **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** CALAMIA MARIO    25U    ING-INF/02    **Copertura:** CONCS

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

#### 1. Introduzione e richiami

- Definizioni (disturbi condotti/radiati, emissione/suscettibilità, modo comune/differenziale, ecc.)
- Unità di misura
- Equazioni delle linee di trasmissione
- Grandezze caratteristiche delle antenne in trasmissione e ricezione
- Ambiente elettromagnetico, scarica elettrostatica, fulmine, impulso elettromagnetico nucleare.

#### 2. Strumentazione

- Sensori di campo elettrico e magnetico per alta e bassa frequenza
- Antenne a larga banda
- Rivelatori
- Analizzatore di spettro
- Ricevitore EMI

#### 3. Ambienti di prova

- Open site
- Camera anecoica
- Camera riverberante
- Celle TEM e GTEM

#### 4. Normativa

- Direttiva europea sulla compatibilità elettromagnetica
- Normativa civile e militare
- Normativa nazionale sull'esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (Legge quadro, DPCM 8/07/2003, norme CEI di riferimento).

#### 5. Effetti biologici del campo elettromagnetico

I fondamenti della Fisica Quantistica e alcune delle sue applicazioni.

La "crisi" della Fisica classica e la nascita della "Fisica quantistica": il Corpo Nero, fenomenologia e sua descrizione in termini dell'ipotesi "quantistica" di Planck; l'effetto fotoelettrico, fenomenologia e sua descrizione in termini di "fotoni"; cenni sulla produzione di Raggi X e sull'effetto Compton. Spettri atomici e modello atomico di Bohr, ipotesi di quantizzazione dei livelli energetici degli atomi. Ulteriori aspetti ed esperienze sulla natura corpuscolare della luce: l'esperienza di Young e Taylor. L'ipotesi di De Broglie e le "onde di materia"; conferme sperimentali dalla diffusione di elettroni. Pacchetti d'onda e particelle. Ipotesi ed Equazione di Schrödinger per la funzione d'onda. Significato fisico della funzione d'onda, valori di aspettazione di una grandezza fisica. Principio di Indeterminazione di Heisenberg. Relazione fra descrizione "classica" e "quantistica" dei fenomeni fisici: teorema di Ehrenfest e limite classico. Soluzioni e applicazioni dell'Equazione di Schrödinger stazionaria relative a sistemi quantisti unidimensionali: riflessione e trasmissione di una particella da parte di un gradino di potenziale; riflessione e trasmissione di una particella da parte di una barriera di potenziale, effetto tunnel; buca di potenziale, "stati legati" di una particella; applicazioni pratiche relativi a diodi ad effetto tunnel, eterostrutture di semiconduttori (quantum-wells) etc. Quantizzazione dell'oscillatore armonico, esempi concreti (vibrazioni molecolari etc.). Soluzioni e applicazioni dell'Equazione di Schrödinger stazionaria relative a sistemi quantisti tridimensionali: buche di potenziale tridimensionali e potenziali centrali; applicazioni relative a "quantum boxes" e "quantum dots" e all'atomo di Idrogeno. La quantizzazione del momento angolare; spettri rotazionali delle molecole; l'esperienza di Stern e Gerlach e lo "spin" di una particella, evidenze spettroscopiche. Equazione di Schrödinger per duo o più particelle; conseguenze dell'indistinguibilità di particelle identiche. Principio di esclusione di Pauli: distinzione delle particelle in Fermioni e Bosoni e sue conseguenze sulla funzione d'onda. Cenni su le applicazioni relative all'atomo di Elio, la molecola di Idrogeno, la formazione del legame covalente e la classificazione del Sistema periodico degli elementi. Metodi di soluzione approssimata dell'Equazione di Schrödinger stazionaria: teoria delle perturbazioni stazionarie e sue semplici applicazioni. Soluzione dell'Equazione di Schrödinger non stazionaria: metodi di approssimazione e teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo; applicazioni relative ad urti fra particelle e transizioni fra livelli stazionari di un sistema; regola aurea di Fermi. Confronto fra le probabilità di transizione fra due livelli per bosoni e fermioni e relative relazioni di "bilancio dettagliato": cenni sulle conseguenze ed applicazioni (emissione stimolata, fenomeni di condensazione, etc.). Applicazione alla interazione radiazione-materia: assorbimento ed emissione di fotoni.

Nozioni di Fisica statistica.

Postulati di base e distinzioni relative alla Meccanica statistica di particelle classiche e di particelle quantistiche (fermioni e bosoni). Funzione di distribuzione per particelle classiche: statistica classica o di Boltzman; semplici applicazioni al gas perfetto di molecole biatomiche. Funzione di distribuzione per bosoni: statistica di Bose-Einstein; semplici applicazioni al gas di fotoni e al calore specifico di un solido. Funzione di distribuzione per fermioni: statistica di Fermi-Dirac; semplici applicazioni al gas di elettroni liberi nei metalli e nei semiconduttori e all'emissione termoionica.

Elementi di Elettronica Quantistica.

Interazione radiazione-materia: assorbimento, emissione spontanea, emissione stimolata, definizione dei relativi coefficienti; cenni relativi a questi fenomeni fisici in materiali di diverso tipo. Sistemi di amplificazione di segnali luminosi; il laser. Schema di base di un sistema laser. Equazioni di bilancio (rate equations) per un sistema laser: condizioni di soglia per l'innescio dell'emissione laser in regime continuo. Caratteristiche dell'emissione laser. Funzionamento di un sistema laser in regime impulsato: tecniche di Q-switching per la produzione di impulsi di elevata energia. Funzionamento di un sistema laser in regime impulsato: tecniche di mode-locking per la produzione di impulsi ultrabrevi. Breve rassegna dei più comuni tipi di lasers e delle loro caratteristiche; esame più approfondito delle condizioni di funzionamento e caratteristiche dei lasers a semiconduttore.

Approfondimenti e sviluppi.

Nei limiti del possibile e dell'interesse degli studenti si cercherà di approfondire argomenti specifici inerenti il corso anche in relazione agli sviluppi più recenti o futuri di queste tematiche (es. nanotecnologie, quantum-computing e quantum-cryptography, spintronica, etc.)



**Disciplina:** N175ELS    **CONTROLLI AUTOMATICI**

ING-INF/04

**Corso di Studio:** ELS    IEL AUS

**Crediti:** 5    **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** TESI ALBERTO

P1    ING-INF/04

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Sistemi e Informatica

---

## PROGRAMMA DI CONTROLLI AUTOMATICI - ANNO ACCADEMICO 2007/2008

### 1. Introduzione.

Scopo e linee principali del corso. Richiami sulle proprietà di sistemi lineari stazionari, sull'inseguimento di singoli segnali di riferimento e la reiezione di singoli disturbi (principio del modello interno). Inseguimento e reiezione di classi di segnali di riferimento.

### 2. Stabilità dei sistemi di controllo a retroazione

Stabilità interna: definizione, condizioni e relazioni con il criterio di Nyquist. Caratterizzazione dei controllori stabilizzanti: impianto stabile e impianto instabile; caso del pendolo (doppio) inverso.

### 3. Tecniche di sintesi diretta.

Scelta della funzione di trasferimento ad anello chiuso; progetto del controllore sulla base delle specifiche. Cenni alla sintesi diretta a più obiettivi.

### 4. Limitazioni sulle prestazioni dei sistemi di controllo a retroazione.

Influenza di poli e zeri dell'impianto sulla banda e sulla risposta al gradino del sistema. Teorema di Bode sulla funzione di sensibilità  $S$  e la funzione ad anello chiuso  $W$ .

### 5. Stabilità e prestazioni robuste

Prestazioni nominali: vincolo sulla norma  $H_\infty$ ; di  $S$ . Stabilità robusta: vincolo sulla norma  $H_\infty$ ; di  $W$ . Prestazioni robuste: vincolo sulla norma  $H_\infty$ ; di  $S$  e  $W$ . Cenni alla tecnica di loopshaping per impianti a minima rotazione di fase.

### 6. Sistemi a dati campionati.

Campionamento e ricostruzione dei segnali. Discretizzazione di un sistema lineare stazionario a tempo continuo; analisi del comportamento dinamico in trasformata  $Z$ . Progetto controllore digitale; tecniche di integrazione.

(ultimo aggiornamento: 12/12/07)

1. Elementi di teoria dei dispositivi elettronici
  - 1.1. Elettrostatica delle Giunzioni Semiconduttore-Semiconduttore e Metallo-Semiconduttore
  - 1.2. Teoria della giunzione P-N e della giunzione Me-S
  - 1.3. Proprietà elettroniche delle eterostrutture a semiconduttore, Semiconduttori composti
  - 1.4. Eterostrutture adattate e pseudomorfe
  - 1.5. Livelli energetici nelle Quantum Well
  - 1.6. Confinamento in Triangular Quantum Well
2. Il transistor Bipolare – BJT
  - 2.1. richiami sul principio di funzionamento
  - 2.2. calcolo della corrente di trasporto
  - 2.3. caratteristiche statiche e dinamiche
3. Il transistor MOS
  - 3.1. struttura a bande e principio di funzionamento
  - 3.2. inversione del canale e calcolo della tensione di soglia
  - 3.3. circuito equivalente
4. Il Metal-Semiconductor-FET: MESFET
  - 4.1. Principio di funzionamento
  - 4.2. Circuito equivalente ad alta frequenza
  - 4.3. Componenti parassite
  - 4.4. Rumore nel MESFET
5. Transistor ad Elevata Mobilità (HEMT)
  - 5.1. Principio di funzionamento: analisi fisica
  - 5.2. transistori AlGaAs/GaAs, AlGaAs/InGaAs/GaAs, InAlAs/InGaAs/InP
  - 5.3. Circuito equivalente
  - 5.4. Efficienza di modulazione
  - 5.5. Criteri di progetto per un HEMT
  - 5.6. Modelli numerici del trasporto elettronico ed il controllo di un 2DEG
6. Transistor Bipolari ad Eterogiunzione (HBT)
  - 6.1. Principio di funzionamento e caratteristiche
  - 6.2. strutture Si/SiGe, AlGaAs/GaAs
  - 6.3. Modello di Ebers-Moll e Gummel-Poon
7. Cenni di nanoelettronica
  - 7.1. Tunneling risonante in super-reticoli, inter- e intra-banda
  - 7.2. confinamento elettronico in strutture 1D e 0D; FET a singolo elettrone
  - 7.3. elettronica molecolare

**Disciplina:** 000054      **ELABORAZIONE NUMERICA DEI SEGNALI III**      ING-INF/03

**Corso di Studio:** ELS      TES INS      **Crediti:** 5      **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** ARGENTI FABRIZIO      P2      ING-INF/03      **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Effetti dell'aritmetica a precisione finita

FFT: realizzazione con aritmetica a precisione finita: quantizzazione dei coefficienti e delle operazioni intermedie.

Rapporto segnale-errore in uscita.

FIR: strutture realizzative; realizzazione con aritmetica a precisione finita: quantizzazione dei coefficienti e delle operazioni intermedie. Fattore di scala. Rapporto segnale-errore in uscita.

IIR: strutture realizzative; realizzazione con aritmetica a precisione finita: quantizzazione dei coefficienti e delle operazioni intermedie. Fattore di scala. Ordinamento e accoppiamento di poli e zeri. Rapporto segnale-errore in uscita.

Cicli limite.

Elaborazione dei segnali a campionamento variabile

Interpolazione e decimazione di segnali numerici: fattore intero e fattore razionale.

Conversione di frequenza mediante tecniche di interpolazione e decimazione.

Progetto di filtri per interpolazione e decimazione. Strutture per decimatori e interpolatori. Strutture polifase.

Realizzazione a stadi multipli di interpolatori e decimatori.

Traslazione frazionaria del passo di campionamento.

Realizzazione di sistemi di elaborazione numerica dei segnali

Caratteristiche degli algoritmi e dei sistemi di elaborazione numerica dei segnali.

Complessità realizzativa: parametri per la sua valutazione.

Componenti elementari: moltiplicatori, moltiplicatori-accumulatori, memorie, circuiti ausiliari. Digital Signal

Processor (DSP). Realizzazione VLSI (cenni).

Realizzazione mediante aritmetica distribuita.

Applicazioni

**Disciplina:** N752ELS **ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI II**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS INS AUS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** TORTOLI PIERO

P1 ING-INF/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

1. Progetto di sistemi digitali ad alta velocità

Linee di trasmissione digitali. Rumore di commutazione (ground bounce) e (forward/reverse) cross-talk: cause, effetti, contromisure. Problemi di "lay-out", progetto dei circuiti stampati.

2. Dispositivi e sotto-sistemi dedicati

DSP, filtri FIR, processatori per FFT, DDS, PLL, CD.

3. Sistemi di acquisizione e sintesi di segnali

Track & Hold. Convertitori Sigma-Delta, flash, subranging e pipeline. Tecniche sperimentali per valutare le prestazioni statiche e dinamiche. Specifiche statiche e dinamiche dei convertitori D/A. Moltiplicatori D/A.

5. Analisi temporale di sistemi digitali

Temporizzazione di circuiti digitali e valutazione delle massime frequenze operative. Sistemi sincroni: distribuzione di clock, clock "skew".

**Disciplina:** N193ELS **ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI I** ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS IEL **Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** PIERACCINI MASSIMILIANO P2 ING-INF/01 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

vedi ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI I - IEL

**Disciplina:** N745ELS **ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI II**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** PIERACCINI MASSIMILIANO P2 ING-INF/01 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Le comunicazioni digitali costituiscono il collante di qualunque sistema elettronico, dal singolo processore alla rete globale internet. Non è possibile progettare un sistema elettronico senza la chiara definizione delle connessioni digitali sulle quale si basa.

Tali connessioni, senza pretesa di rigore ma per comodità di esposizione, possono essere pensate distribuite su cerchi concentrici.

Il primo cerchio racchiude i dispositivi elettronici fisicamente collegati in modo permanente: ad esempio l'elettronica contenuta nel "case" di un Personal Computer, o di un cellulare. Le connessioni digitali a questo livello, trattate in questo corso, sono i bus PCI, PSI, CAN, I2C.

Il secondo cerchio, che possiamo pensare concentrico al primo, contiene le periferiche che tipicamente non sono collegate in modo permanente. Nel caso di un Personal Computer sono periferiche scollegabili il video, la stampante, il mouse, la fotocamera ecc. Le connessioni digitali relative a questo cerchio, trattate in questo corso, sono la porta seriale RS232, la porta parallela IEEE 1284, il bus IEEE 488, l'USB, il bluetooth.

Infine, il terzo cerchio comprende tutte le connessioni del dispositivo con il mondo esterno: il modem, ethernet, il protocollo wireless IEEE 802.11, il GSM, l'UMTS.

### 1. TECNICHE DI INTERCONNESSIONE DIGITALE

#### 1.1 Topologie

#### 1.2 Connessioni seriali e parallele

#### 1.3 Modello a strati

#### 1.4 Livello elettrico

#### 1.5 Livello ciclo

#### 1.6 Connessioni punto-punto

##### 1.6.1 Connessioni parallele punto-punto

##### 1.6.2 Connessioni seriali punto-punto

#### 1.7 Connessioni bus

### 2. BUS INTERNI AL PC

#### 2.1 Architettura interna di un processore

#### 2.2 Il bus PCI

#### 2.3 Il bus PCI-express

### 3. LA PORTA PARALLELA (IEEE 1284)

La porta parallela IEEE 1284 risale ai primi anni '60 ed è stata la prima porta tra personal computer e periferiche. Si tratta ovviamente di uno standard obsoleto, ma ancora tutt'altro che tramontato proprio per la sua semplicità e ubiquità. Tra l'altro, la porta parallela, disponibile in ogni personal computer, si presta a realizzare semplici esperienze di laboratorio didatticamente molto efficaci.

#### 3.1 Connettori e piedinatura

#### 3.2 I modi di funzionamento della porta parallela

##### 3.2.1 Compatibility mode

##### 3.2.2 Nibble mode

##### 3.2.3 Byte mode

##### 3.2.4 EPP (Enhanced Parallel Port) mode

##### 3.2.5 ECP (Extended Capability Port) mode

### 4. LO STANDARD IEEE 488 (GPIB)

Lo standard IEEE 488 è lo standard di comunicazione per autonomia tra personal computer e strumentazione. Si tratta di un bus parallelo di concezione piuttosto datata, ma così diffuso che è ben difficile non farne uso nella pratica di laboratorio.

#### 4.1 Topologia

#### 4.2 Connettori e piedinatura

#### 4.3 Protocollo di trasferimento

#### 4.4 Indirizzi

#### 4.5 Dati

### 5. LE PORTE VIDEO VGA E DVI

La comunicazione digitale con il video è stata per decenni una sfida irrisolta. La porta VGA è in realtà una porta analogica solo recentemente è stato introdotto uno standard digitale, il DVI.

5.1 La porta VGA

5.2 La porta DVI

## 6. LA PORTA SERIALE (RS 232)

La porta seriale RS232 è un altro “classico” della comunicazione digitale. Nata per le comunicazioni tra il personal computer e il modem è oggi usata in una varietà di applicazioni a basso costo. Oggi è spesso usata come porta di back-up. Per quanto sicuramente datata, l’ingegnere elettronico non può ancora prescindere da una certa familiarità con la RS232.

6.1 Livello elettrico

6.2 Connettori e piedinatura

6.3 Protocollo di trasferimento

6.4 Protocollo di trasferimento null-modem

6.5 Formato dati

6.6 Interfaccia

## 7. IL BUS SPI (SERIAL PERIPHERAL INTERFACE)

Il bus SPI è un bus interno seriale. Semplice ed economico è uno dei più usati nell’elettronica di consumo.

7.1 Principio di funzionamento

7.2 Indirizzamento

## 8. I BUS INDUSTRIALI

8.1 Lo standard RS-485

8.1 Il bus CAN

8.2 Il livello elettrico

8.3 I bus derivati dal CAN e i bus industriali alternativi

## 9. IL BUS I2C

Uno dei più interessanti e versatili bus seriali, può essere impiegato sia come bus interno sia come bus di un sistema distribuito. Di elegante concezione, trova larghissimo impiego nell’elettronica di consumo.

9.1 Il livello elettrico

9.2 Il protocollo di trasmissione

9.3 L’arbitraggio

## 10. IL BUS USB

Il bus USB, spesso utilizzato semplicemente come porta, è nato con il dichiarato obiettivo di soppiantare ogni altro bus o porta tra il personal computer e le periferiche. Il successo di questo standard è tale da far pensare che possa realmente raggiungere il suo ambizioso obiettivo.

10.1 Cavi e connettori

10.2 Livello elettrico e di ciclo

10.3 Struttura del protocollo di trasmissione

10.4 Il frame

10.5 I pacchetti

10.6 I trasferimenti bulk

10.7 I trasferimenti isocroni

10.8 I trasferimenti control

10.9 I trasferimenti interrupt

10.10 Endpoint e indirizzi

10.11 Hot plug and play

10.12 Enumerazione

10.13 Gli hub

## 11. ETHERNET

Una delle più grandi invenzioni di tutti i tempi. Standard di comunicazione digitale robusto ed elegante, è alla base del successo di Internet.

11.1 Cavi e connettori

11.2 Il protocollo CSMA/CD: “ a dinner party in a dark room”

11.3 Il frame

11.4 Gestione degli indirizzi

11.5 Switch

11.6 Router

## 12. TECNICHE DI MODULAZIONI DIGITALI

Le comunicazioni digitali si distinguono in due grandi famiglie: le comunicazioni in banda base e le comunicazioni modulate. In generale è necessario modulare il segnale quando è necessario adattare il segnale alle caratteristiche del

canale, anziché il contrario come nel caso delle connessioni digitali illustrate nei capitoli precedenti. La modulazione è indispensabile per comunicare mediante il canale telefonico (nato per le trasmissioni analogiche foniche e non per le trasmissioni digitali) o attraverso l'etere (le cosiddette comunicazioni wireless). In questo corso si richiamano le principali modulazioni digitali.

- 12.1 Tipi di modulazione
- 12.2 Modulazioni digitali
- 12.3 Modulazioni FSK
- 12.4 Modulazioni PSK
  - 13.4.1 Modulazione B-PSK
  - 13.4.2 Modulazione Q-PSK
  - 13.4.3 Modulazione QAM
- 12.5 Modulatore IQ
- 12.6 Demodulatore IQ
- 12.7 Il problema della coerenza dell'oscillatore locale del ricevitore
  - 12.7.1 Ricostruzione della portante
  - 13.7.2 D-PSK
- 12.8 Ricostruzione del clock
- 12.9 Il problema delle brusche variazioni di fase
  - 12.9.1 MSK
  - 12.9.2 Offset QPSK
  - 12.9.3 Filtro gaussiano

### 13 IL MODEM

Il modem ha lo scopo di modulare e demodulare il segnale digitale in banda base per renderlo adatto alla trasmissione sul canale telefonico. Si illustra il fax e i modem attualmente impiegati fino all'ADSL.

- 13.1 La linea telefonica
- 13.2 Capacità della linea telefonica
- 13.3 Il fax
- 13.4 Il modem v.34
- 13.5 Il modem v.90
- 13.6 Il protocollo ADSL
  - 13.6.1 Attenuazione e dispersione del doppino
  - 13.6.1 Discrete Multitone Linecode

### 14. BLUETOOTH

Il Bluetooth è uno standard di comunicazione digitale che nasce con l'intento di sostituire i cavi di collegamento con le periferiche.

- 14.1 Topologia
- 14.2 Come più utenti possono condividere la stessa banda?
- 14.3 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
- 14.4 Modulazione
- 14.5 Correzioni errori
- 14.6 Frame
- 14.7 Modello OSI

### 15. IEEE 802.11 (WiFi)

Si tratta dello standard wireless più diffuso, sta rapidamente rimpiazzando le tradizionali cablature nelle piccole rete locali. La tecnologia wireless è uno dei settori dell'elettronica delle comunicazioni in più rapida espansione.

- 15.1 Modello OSI
- 15.2 Topologia
- 15.3 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
- 15.4 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- 15.5 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- 15.6 Pacchetti
- 15.7 Il protocollo CSMA/CD per collegamenti wireless

### 16. GSM

Lo storico standard per la telefonia mobile ancora attuale anche grazie a un gran numero di ingegnose soluzioni tagliate per il difficile ambiente dei radiomobili.

- 16.1 Propagazione delle onde elettromagnetiche nell'ambiente radiomobile
- 16.2 Lo standard GSM
  - 16.2.1 Conversione A/D
  - 16.2.2 Codifica vocale
  - 16.2.3 Codifica di canale
  - 16.2.4 Costruzione del burst

- 16.2.4 Codifica dati
- 16.2.5 Codifica segnalazioni
- 16.3 Allineamento adattativi della trama
- 16.3 Modulazione
- 16.4 Gestione della potenza di trasmissione
- 16.5 Trasmissione discontinua

#### 17. EFFETTI BIOLOGICI DELLA RADIAZIONI NON IONIZZANTI

- 17.1 Radiazioni ionizzanti e non-ionizzanti
- 17.2 Specific Absorption Rate (SAR)
- 17.3 Effetti termici
- 17.4 Effetti non termici
- 17.5 Normativa
- 17.6 Stima del SAR per un radiomobile

**Disciplina:** N211ELS **ELETTRONICA DIGITALE**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS IEL

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** ATZENI CARLO

P1 ING-INF/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** 000369

**ELETTRONICA INDUSTRIALE**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS N198IEL

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** CAPINERI LORENZO

P2 ING-INF/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

1. Componenti passivi reali: tecnologie e caratteristiche
2. Classificazione degli stadi amplificatori: A,B, AB, C, D. Amplificatori in classe A con accoppiamento diretto o a trasformatore del carico Amplificatori in classe B e AB a simmetria complementare e con pilotaggio in controfase.
3. Amplificatori integrati di potenza in configurazione a ponte.
4. Amplificatori in classe D.
5. Distorsione armonica totale.
6. Calcolo del rendimento.
7. Progetto termico.
  
8. Dispositivi a quattro strati (scr, triac, diac); caratteristiche e circuiti di controllo. Mosfet di Potenza
  
9. Alimentatori a commutazione. Circuiti Forward e Flyback. Convertitori DC-DC
10. Sistemi di controllo della potenza mediante dispositivi a quattro strati.  
Alimentatori a dissipazione: schema a blocchi e definizione dei parametri di stabilizzazione. Regolatori di tensione con diodo zener.
11. Esercitazioni di laboratorio
  - 1) Amplificatore in classe AB in controfase
  - 2) Progetto termico
  - 3) Amplificatore in classe D
  - 4) Controllore di potenza a impulsi sincronizzati con la rete e TRIAC
  - 5) Caratterizzazione di stabilizzatori di tensione integrati e a componenti discreti
  - 6) Alimentatori a commutazione.

**Disciplina:** N174ELS **ELETTROTECNICA INDUSTRIALE**

ING-IND/31

**Corso di Studio:** ELS IEL

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** REATTI ALBERTO

P2 ING-IND/31

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Tutte le informazioni sui corsi ( programmi e  
appelli d'esame) sono consultabili al seguente  
indirizzo:

<a href="http://www.reatti.net">http://www.reatti.net</a>

**Disciplina:** N739ELS **FISICA DELLO STATO SOLIDO**

FIS/03

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** BRUZZI MARA

P2 FIS/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. di Energetica "S.Stecco"

---

Struttura cristallina

reticolo di Bravais - cella unitaria - reticoli cubici a corpo centrato ed a facce centrate - reticoli diamante, wurtzite e zinoblenda - Scattering alla Bragg - reticolo reciproco e zone di Brillouin - indici di Miller - cenni ai legami cristallini ( covalente, ionico, di Van der Waals ) - approssimazione adiabatica

Struttura elettronica

Modello di Kronig-Penney - Funzioni di Bloch - modello degli elettroni quasi liberi e diagramma a bande - impurezze donore e accettore shallow - semiconduttore intrinseco, estrinseco e degenerare - conducibilita' elettrica in un semiconduttore - effetto Hall - giunzione pn - giunzione Schottky. Cenni alle impurezze profonde.

Dinamica reticolare

Vibrazioni di reticoli monoatomici - scattering anelastico di fotoni da parte di fononi - fononi ottici ed acustici.

Proprieta' fisiche di materiali semiconduttori utilizzati in elettronica

Metodi per la crescita di materiali semiconduttori - discussione delle principali proprieta' elettroniche e di trasporto elettrico in semiconduttori quali Si, Ge, SiC, GaAs - cenni ai semiconduttori composti e leghe - cenni alle eterogiunzioni - misura di proprieta' elettriche di semiconduttori in laboratorio.

**Disciplina:** 000057      **FISICA MATEMATICA**      MAT/07

**Corso di Studio:** ELS      MAS      **Crediti:** 5      **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** BORGIOI GIOVANNI      P2      MAT/07      **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

FISICA MATEMATICA (5 CFU, circa 50 ore di lezione).

Programma A.A. 2007-2008

Il corso è rivolto agli studenti della laurea specialistica in Ingegneria Elettronica, ma può essere scelto anche da studenti della laurea specialistica in Ingegneria Matematica.

Una scelta ragionata del programma da svolgere deve essere quindi valutata anche in base alla composizione dell'utenza studentesca, che può, peraltro, variare di anno in anno.

L'obiettivo del corso è di fornire dei complementi di Meccanica Analitica (elementi di Meccanica Hamiltoniana) e proporre le basi matematiche dell'analisi qualitativa delle equazioni differenziali ordinarie, la stabilità secondo Liapunov, la stabilità strutturale, il concetto di sistema dinamico, il metodo delle perturbazioni.

Gli argomenti trattati nel corso sono:

#1 Hamiltoniana ed equazioni canoniche. Principi variazionali in Meccanica Analitica.

#2 Richiami su equazioni differenziali ordinarie. Analisi qualitativa., orbite, ritratto di fase. Stabilità secondo Liapunov.

#3 Modelli in teoria delle popolazioni (preda-predatore, epidemiologico, competizione esclusiva) ed in ambito fisico (oscillatori non lineari: Duffing, Van der Pol).

#5 Sistemi dinamici: definizioni di flusso,  $\omega$ -limite,  $\omega$ -limite, insiemi positivamente invarianti, insiemi attrattivi. Il teorema di Poincaré-Bendixon. Introduzione alla stabilità strutturale. Biforcazioni.

#6 Introduzione al metodo delle perturbazioni.

#7 Equazioni a derivate parziali: onde, diffusione, equazioni di Laplace e Schrödinger.

Informatica industriale - A.A. 2004-2005

- 1) Caratteristiche generali dei sistemi embedded
- 2) Richiami su macchine a stati finiti, automi a stati finiti riconoscitori di linguaggi &#8211; classificazione di chomsky
- 3) Implementazione di macchine a stati
- 4) Realizzazione sistemi event-driven con interruzioni
- 5) Tipici cicli di controllo - vincoli real-time &#8211; wcet - task periodici
- 6) Real time Scheduling
- 7) Fixed priority scheduling &#8211; rate monotonic priority assignment &#8211; Earliest deadline first
- 8) Priority inversion - Priority inheritance
- 9) Sistemi operativi real-time
- 10) Introduzione ai processori di utilizzo industriale - classificazione in MPU, MCU, DSP, PLC, PC industriali
- 11) Dependability &#8211; concetti e terminologia
- 12) Valutazione dell&#8217;Affidabilità &#8211; failure rate, MTTF
- 13) Modello MIL-HDBK 217 F per valutazione Affidabilità di componenti Hw
- 14) Modello combinatorio per la valutazione. dell&#8217;affidabilità Modelli serie, parallelo, N su M
- 15) Disponibilità, Manutenibilità, MTBF, MTTR
- 16) Safety
- 17) Tecniche di valutazione qualitativa affidabilità: FMEA / HAZOP / FTA
- 18) Meccanismi di rilevazione degli errori - duplicazione e confronto
- 19) Codici rilevatori di errore
- 20) Principi dei codici correttori di errore e loro applicazioni
- 21) Fault masking TMR NMR
- 22) Ridondanza per diversità - Software fault tolerance
- 23) Esempi di sistemi dependable
- 24) Introduzione ai metodi formali per lo sviluppo, la specifica e la verifica del SW
- 25) Introduzione alla verifica formale - Model checking
- 26) La certificazione software e la Normativa CENELEC
- 27) Testing del software

**Disciplina:** N203ELS **INGEGNERIA DEL SOFTWARE**

ING-INF/05

**Corso di Studio:** ELS IIN TES

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** BUCCI GIACOMO

P1 ING-INF/05

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Sistemi e Informatica

---

**Disciplina:** 000363      **LABORATORIO DI PROGETTAZIONE IN**      ING-INF/01  
**ALTA FREQUENZA**

**Corso di Studio:** ELS      **Crediti:** 5      **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** MAGRINI IACOPO      25U      **Copertura:** CRETR

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

#### Teoria

- Metodologie descrittive di blocchi n-porte: parametri Z,Y,S
- Problema dell'adattamento: reti di adattamento a L a T e Pi-greco ;
- Richiami sulle tipologie di modulazioni digitali
- Parametri di progetto dei transceivers
- Sistemi di ricetrasmissione: Rx-eterodina, zero-IF, Low-IF; TX-diretta , indiretta, polare
- Descrizione funzionale di mixers, amplificatori e VCO

#### Laboratorio

- Descrizione degli strumenti per la caratterizzazione in frequenza: VNA, analizzatore di spettro, strumenti di acquisizione
- Introduzione alle metodologie di analisi CAD: caso specifico ADS (Advanced Design System).
- Problema dell'adattamento: utilizzo del CAD per la progettazione di RDA
- Progettazione di un power detector in tecnologia ibrida
- Implementazione qualitativa, tramite CAD, di un transceiver per modulazione FSK
- Verifiche dei parametri funzionali

**Disciplina:** 0000182 **MICROELETTRONICA**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** FRATINI (3 CFU) A TITOLO GRATUITO

**Docente:** FRATINI MATTEO 25U

**Copertura:** CRETR

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

---

---

Modelli di Dispositivi Elettronici

L.S. in Ing. Elettronica

Prof. Giovanni Frosali

#### MODULO relativo ai MODELLI DI TRASPORTO NEI SEMICONDUTTORI

1. Scopo della modellistica fisico-matematica nella progettazione di dispositivi. Punto di vista microscopico e macroscopico. Esempi di grandezze e modelli macroscopici.
2. Introduzione alla Teoria del Trasporto. Funzioni di distribuzione. Densità angolari e di corrente. Funzioni di distribuzione. Distribuzione di Maxwell-Boltzmann.
3. Distribuzioni statistiche. Statistica di Maxwell-Boltzmann. Statistica di Bose-Einstein. Statistica di Fermi-Dirac. Calcolo delle probabilità nel caso discreto. Distribuzione di Fermi-Dirac.
4. Regime stazionario. Equilibrio e scostamento dall'equilibrio. Il caso di un circuito RL e di un semiconduttore.
5. Concetto di tempo medio. Vita media degli elettroni e delle lacune. Tempo di rilassamento dell'energia e della quantità di moto.
6. Fenomeni di non equilibrio in un semiconduttore. Scambi di particelle, di energia e di quantità di moto fra il reticolo cristallino, il gas di elettroni ed il gas di lacune: fenomeni di generazione e ricombinazione, urti e impurità neutre o ionizzate, vibrazioni reticolari o fononi.
7. Non equilibrio termodinamico. Distribuzione Maxwelliana traslata.
8. Disequilibrio dovuto al campo esterno. Disequilibrio dovuto a iniezione e svuotamento di portatori. Vibrazioni reticolari: Fononi. Onde elastiche in un reticolo monidimensionale. Vibrazioni reticolari: Fononi. Onde elastiche in un reticolo monoatomico
9. Onde elastiche in un reticolo bioatomico. Relazione di dispersione. Ramo acustico ed ottico. Vibrazioni reticolari in un solido. Fotone (quanto sonoro).
10. Fenomeni di trasporto nei semiconduttori. Trascinamento o deriva (drift). Bilancio della quantità di moto. Velocità di drift e mobilità.
11. Densità di corrente di drift. Caso del basso campo e legge di Ohm. Bilancio dell'energia. Energia media dei portatori.
12. Trasporto in basso campo: mobilità. Meccanismi di trasferimento di energia e quantità di moto dai portatori al reticolo. Mobilità totale. Regola di Mathiessen. Trasporto in alto campo: velocità di saturazione. Campi moderatamente elevati e campi molto elevati.
13. Fenomeni di trasporto nei semiconduttori. Diffusione. Il modello di diffusione del calore e la legge di Fick. Gradiente di una concentrazione. Densità di corrente di diffusione. Velocità media di diffusione. Diffusività e mobilità. Le relazioni di Einstein.
14. Ricombinazione-Generazione. Meccanismi termici, Auger, radiativi. Tassi di generazione e ricombinazione. Quasineutralità. G-R banda-banda termica. G-R banda-banda radiativa. G-R attraverso livelli intermedi.
15. G-R indiretta termica (SRH). G-R banda-banda Auger e generazione a valanga.
16. Il modello drift-diffusion (deriva-diffusione). L'equazione di continuità di elettroni e lacune. Equazione costitutiva per le densità di corrente di elettroni e lacune.
17. Le equazioni drift-diffusion. Potenziale microscopico e macroscopico. L'equazione di Poisson.
18. Condizioni al contorno (Dirichlet, Neumann, miste, nonlineari). Condizione sui contatti metallici. Condizione sull'interfaccia dielettrica. Caso ideale di dispositivo in un mezzo isolante.
19. Il modello di deriva-diffusione in equilibrio termodinamico. L'equazione di Poisson-Boltzmann. La relazione di Einstein. Introduzione ai quasi livelli di Fermi e loro significato.
20. Applicazioni del modello di deriva-diffusione, con il livello di Fermi intrinseco ed i quasi livelli di Fermi come variabili dipendenti.
21. Riepilogo sul modello di Drift-Diffusion. Diagrammi a bande e loro costruzione.
22. Diagramma a bande di equilibrio. Campo di built-in. Diagramma a bande di giunzioni. Diagrammi a bande fuori equilibrio.
24. Modelli di trasporto di ordine di superiore. Equazioni dinamiche per l'energia media e per la quantità di moto. Modelli per i tempi di rilassamento.
25. Mobilità in funzione dell'energia media dei portatori. Saturazione di velocità. Overshoot di velocità. Overshoot di velocità nel tempo. Overshoot di velocità nello spazio.
26. Densità, densità di corrente, densità di energia in termini di momenti. Chiusura della gerarchia di equazioni dei momenti. Modelli idrodinamici.

## Complementi

L'equazione di Boltzmann classica. Espressione del termine di collisione.

L'equazione di Boltzmann semiclassica, nella zona di Brillouin. Cenno all'approssimazione "low density" ed all'approssimazione col termine di rilassamento. Dai modelli cinetici ai modelli fluidi.

Densità, densità di corrente, densità di energia in termini di momenti. Chiusura della gerarchia di equazioni dei momenti. Modelli idrodinamici. Cenno agli elettroni caldi. Flusso di energia ed equazione alternativa per la conservazione dell'energia

**Disciplina:** 0000198 **OPTOELETTRONICA I**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS IEL

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** BIAGI ELENA

P2 ING-INF/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Sistemi di misura. Introduzione alla RADIOMETRIA e differenze con la FOTOMETRIA, unità di grandezza e simbologia. Quantità spettrali e non spettrali. Energia radiante, Flusso radiante, Intensità radiante, Irradianza Emettenza, Radianza, Assorbanza.. Meccanismi di interazione onde elettromagnetiche, materia.

Corpo nero, distribuzione spettrale della radiazione di corpo nero, Legge di Stefan Boltzmann, legge di radiazione di Plank, Legge dello spostamento di Wien. Corpi grigi, corpi reali. Corpo nero come riferimento per definire le proprietà di assorbimento e emissione dei corpi, corpi freddi e corpi caldi, misure assolute di temperatura basate sul colore.

Sistemi di misura. Fotometria, definizione radiometrica di candela, Curva di sensibilità dell'occhio umano standardizzata, visione fotopica e scotopica. Grandezze fotometriche e loro equivalenza con le grandezze radiometriche.

Principi di ottica geometrica, postulati, leggi della riflessione e rifrazione, applicazione della legge di Snell, riflessione totale, lastra a facce piane e parallele, applicazioni del principio di tempo stazionario, prismi, prisma riflettente, prisma dispersivo.

Ottica geometrica parassiale, specchi sferici, lenti sottili, distanza focale, immagine reale e virtuale, diottri sferici, equazione del diottero e distanze focali, lenti sottili, equazione dei costruttori di lenti, convenzioni sui segni, costruzioni geometriche, specchio sferico convergente, specchio sferico divergente, lente convergente, lente divergente.

Ingrandimento, costruzione grafica delle immagini, ingrandimento trasversale, combinazione di due lenti, diaframmi, numero "F", lente di ingrandimento, macchina fotografica

Lente d'ingrandimento e oculare, microscopio composto, telescopio ad espansione di fascio, specchi sferici, definizioni, convenzione e equazione dei punti coniugati

Ottica matriciale, matrici fondamentali, calcolo della distanza immagine, matrice di una lente sottile, stabilità di una cavità risonante, lenti spesse, matrice di trasferimento, diottria di una lente spessa,

Aberrazioni monocromatiche, coma, astigmatismo, aberrazione cromatica, equazione dei raggi, lenti a gradiente di indice. Doppia fenditura e reticolo di diffrazione, esercizi

Aberrazioni monocromatiche, coma, astigmatismo, aberrazione cromatica, equazione dei raggi, lenti a gradiente di indice. Doppia fenditura e reticolo di diffrazione, esercizi

Metodi di accoppiamento e disaccoppiamento della luce in guida, caratterizzazione di guide ottiche planari, dispositivi ottici integrati, interferometro di Mach-Zehnder, accoppiatore direzionale

Tecniche di fabbricazione di guide ottiche in vetro e niobato di litio, dispositivi ottici integrati  
Accoppiamento della luce in guida, misura delle costanti di propagazione

Fibre ottiche, condizioni di propagazione in fibra, tipi di fibre ottiche "step-index" e "graded index", apertura numerica, prodotto Banda-Lunghezza, fibre ottiche come sistemi per la guida di fasci laser, fibre in silice e in plastica..

Fibre ottiche, attenuazione, assorbimento del materiale, perdite per diffusione, perdite per effetti non lineari, dispersione, dispersione modale, dispersione cromatica, dispersione di guida d'onda., indice di rifrazione effettivo

Fibre ottiche, modi di propagazione in una guida planare, velocità di fase e velocità di gruppo, condizioni di monomodalità, amplificatori ottici, componentistica per fibre ottiche, sistemi di accoppiamento luce-fibra

Fotorivelatori, fotodiodi, fototransistori, fototransistori intrinseci e estrinseci, fotodiodi attivi e passivi, efficienza di conversione, guadagno, grandezze tipiche, banda elettrica e banda ottica.

Fotorivelatori fotodiodi, circuiti equivalenti, punto di lavoro, circuiti di ricezione, fotodiodi PIN

Fotorivelatori di tipo termico, pirometri, circuiti equivalenti, reti di ricezione, applicazione per le misure su sorgenti laser, applicazioni per immagini termografiche, banda elettrica e banda ottica, applicazioni dei pirometri per misure su fasci laser.

Misure con sensori piroelettrici in PVDF per la rilevazione della macchia focale di sistemi laser e la misura di potenza ottica. Elettronica di elaborazione segnale, di trasferimento dati e di presentazione immagini

Grandezze caratteristiche dei fotorivelatori, responsività, "Noise Equivalent Power",  $D^*$ , criteri di progetto per la minimizzazione del rumore del dispositivo della sorgente e del canale di comunicazione

Sensori per immagini a CCD, sensori lineari e a matrice, sensori per immagini nel visibile e nell'infrarosso, immagini per fluorescenza, schede elettroniche di pilotaggio acquisizione e trasferimento dati a personal computer.

**Disciplina:** N744ELS **OPTOELETTRONICA II**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** BIAGI ELENA

P2 ING-INF/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Misure su fibre ottiche, misure di attenuazione, misure di dispersione, misure dell'indice di rifrazione, misure della lunghezza d'onda di "cutoff", misure di apertura numerica. Amplificatori ottici.  
Led, eterogiunzioni, geometrie costruttive, ELED, SELED, DOME LED, led superluminescenti, circuiti di pilotaggio, accoppiamento in fibra

Sistemi Laser industriali

Caratterizzazione di sistemi laser. Parametri caratteristici, curva della potenza emessa in funzione della corrente di pilotaggio, corrente di soglia, sensibilità rispetto alla temperatura, potenza massima di uscita, efficienza, rumore ottico

Misure dirette, potenza di uscita, corrente di pilotaggio, fotocorrente laser, tensione di polarizzazione (laser a diodo) stabilità della potenza ottica.

Sensori in fibra ottica

Sensori CCD E CMOS per immagini

Colorimetria

Fotoacustica laser; regime termoplastico e ablativo. Generazione e ricezione di ultrasuoni con sorgenti laser. Controlli non distruttivi con Laser e ultrasuoni, Sensori acustici in fibra ottica.

Interazione laser tessuti biologici. Tecniche di termoablazione percutanea

Tecniche laser per ablazione di materiali. LIPS (Laser Induced Plasma Spectroscopy)

Lettori CD e DVD

Nefelometria spettrale e polare e caratterizzazione di materiali

Tecniche per indagini termografiche.

Sistemi ottici per Digital Ligth Processing

Optica integrata. Guide planari, metodi di accoppiamento in guida, materiali e tecniche di fabbricazione dei circuiti ottici integrati, applicazioni alle telecomunicazioni e alla elaborazione dei segnali

**Disciplina:** 000060

**RETI DI TELECOMUNICAZIONI**

ING-INF/03

**Corso di Studio:** ELS IDT INS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** FANTACCI ROMANO

P1 ING-INF/03

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

- Struttura e caratteristiche delle reti di comunicazione : generalità.
- Rete telefonica. Struttura di una centrale telefonica automatica.  
Architettura delle reti di connessione. Condizione di assenza di blocco.
- Reti per trasmissione dati e per comunicazione fra calcolatori. Protocolli: modello ISO/OSI.
- Rete telegrafica e telex. Sistemi e servizi telematici.
- Caratteristiche del traffico.
- Commutazione di circuito, di messaggio, di pacchetto.
- Commutazione veloce di pacchetto (FPS) e circuito (FCS).
- Rete numerica integrata nei servizi (ISDN).
- Il trattamento della segnalazione, sistema di segnalazione N.7 (SS7)
- Reti di comunicazione in area locale (LAN), standard IEEE 802.
- Reti di comunicazione in area metropolitana (MAN).
- Reti di comunicazione in area geografica (WAN).
- Servizi a commutazione di pacchetto: Protocollo X.25, Frame Relay, SMDS, TCP/IP.
- Problematiche inerenti l'interconnessione di reti di telecomunicazioni.
- ISDN a larga banda e ATM: Generalità, Aspetti architetturali, Aspetti trasmissivi, Livello fisico, ATM e AAL.
- Il livello fisico nell'accesso alle reti pubbliche : PDH, SDH
- Il livello collegamento : HDLC e suoi derivati.
- Il livello rete.
  
- . Reti Wireless
- . Tecnica di accesso CSMA/CA
- . Reti in tecnologia IEEE 802.11
- . Tecnica ad accesso OFDMA
- . Reti in tecnologia IEEE 802.16.
  
- . Reti di sensori
  
- . Tecniche di instradamento in reti fisse e wireless
- . Tecniche per il controllo della congestione
  
- . Elementi di sicurezza delle comunicazioni.

**Disciplina:** 000365     **SENSORI E RIVELATORI**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS     IEL

**Crediti:** 5     **Tipo:** A

**Note:** A TITOLO GRATUITO

**Docente:** SCABIA MARCO     25U

**Copertura:** CRETR

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** N218ELS **SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE** ING-INF/03

**Corso di Studio:** ELS IDT **Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** FOSSI MARIO P2 ING-INF/03 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Vedi Corso di SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE del Corso di laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni

**Disciplina:** N748ELS    **SISTEMI E CIRCUITI IN ALTA FREQUENZA**    ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS    IEL IDT    **Crediti:** 5    **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** BIFFI GENTILI GUIDO    P1    ING-INF/02    **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** 14365768 **TECNICA RADAR**

ING-INF/03

**Corso di Studio:** ELS IDT

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** GIULI DINO

P1 ING-INF/03

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** 000366      **TECNOLOGIE ED APPLICAZIONI DEI SISTEMI WIRELESS**      ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS      IEL      **Crediti:** 5      **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** MANES GIANFRANCO      P1      ING-INF/01      **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** 000062

**TECNOLOGIE PER I BENI CULTURALI**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** ATZENI CARLO

P1 ING-INF/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Il corso è organizzato come corso collettivo di vari docenti, ciascuno dei quali porta un contributo didattico legato alla propria esperienza di ricerca.

#### 1. COLORIMETRIA

- 1.1 Sorgenti e illuminanti
- 1.2 Interazione luce-materia
- 1.3 Occhio e visione
- 1.4 Colori primari, sintesi additiva e sottrattiva
- 1.5 Coordinate colorimetriche
- 1.6 Sistema RGB
- 1.7 Sistema XYZ
- 1.8 Locus e gamut
- 1.9 Sistema UVW
- 1.10 Sistema LAB

#### 2. DIAGNOSTICA PER IMMAGINI

- 2.1 Immagini nel visibile
- 2.2 Immagini nell'infrarosso vicino
- 2.3 Immagini nell'infrarosso termico
- 2.3 Immagini nell'ultravioletto
- 2.4 Radiografia

#### 3. ACQUISIZIONI DI IMMAGINI TRIDIMENSIONALI

- 3.1 Immagini tridimensionali
- 3.2 Fotogrammetria
- 3.3 Triangolazione ottica
- 3.4 Sistemi a luce strutturata
- 3.3 Sistemi di acquisizione a tempo di volo
- 3.4 Esempi applicativi
- 3.5 Esercitazione di laboratorio

#### 4. TELERIVELAMENTO AMBIENTALE

- 4.1 Telerivelamento ottico
- 4.2 Radiometria
- 4.3 Telerivelamento radar

#### 5. RADAR PENETRANTI (GPR: Ground Penetrating Radar)

- 5.1 Introduzione ai radar penetranti
- 5.2 Propagazione delle onde elettromagnetiche in mezzi attenuanti (lossy)
- 5.3 Profondità di penetrazione e risoluzione
- 5.4 Focalizzazione di immagini radar
- 5.5 Radar ad impulsi ed ad onda continua
- 5.6 Esempi applicativi

#### 6. TECNICHE DI DATAZIONE

- 6.1 Radiocarbonio
- 6.2 Metodo Libby
- 6.3 Spettroscopia di massa
- 6.4 Termoluminescenza
- 6.5 Altre tecniche di datazione.

#### 7. TECNICHE DI ANALISI

- 7.1 Tecniche di analisi mediante raggi X (EPMA, PIXE, XRF, diffrazione)
- 7.2 Microscopia elettronica.
- 7.3 Catodoluminescenza.



**Disciplina:** N743ELS **TEORIA DEI CIRCUITI II**

ING-IND/31

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** MANETTI STEFANO

P1 ING-IND/31

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Definizioni e proprietà topologiche. Ramo, nodo, grafo, taglio anello, maglia, albero, coalbero, anelli e tagli fondamentali. Metodi di Analisi su base tagli ed anelli. Matrice incidenza. Metodo del Tableau. Metodo ai nodi modificato. Teorema di Tellegen.

Componenti attivi. Generatori controllati. Amplificatore Operazionale. Analisi di reti resistive contenenti componenti attivi.

Funzioni gradino unitario, impulso unitario, rampa. Proprietà di continuità delle tensioni sui condensatori e delle correnti sugli induttori. Circuiti degeneri.

Concetti di base sulla Trasformata di Laplace. Antitrasformata di Laplace. Scomposizione in fratti semplici. Circuiti equivalenti nel dominio di Laplace. Funzione di rete. Risposta in frequenza, risposta in ampiezza e risposta in fase.

Poli e zeri. Risposta impulsiva. Stabilità dei circuiti.

Parametri per la rappresentazione di reti due porte. Parametri  $z, y, h, g$ , e di trasmissione. Connessione di reti due porte.

Teorema del massimo trasferimento di potenza. Coefficiente di riflessione. Onda incidente e riflessa. Potenza disponibile. Parametri di diffusione.

Sistemi trifase. Analisi di sistemi trifase simmetrici ed equilibrati, simmetrici e non equilibrati, non simmetrici, con e senza filo neutro. Rifasamento di carichi trifase. Potenza nei sistemi trifase.

1. Funzioni di rete e classificazione delle funzioni filtranti.

Classificazione delle funzioni di rete e stabilità. Funzioni di bipolo passivo. Proprietà delle funzioni immittenza LC, RC, RL. Funzioni biquadratiche. Classificazione delle funzioni filtranti.

2. Approssimazione delle funzioni filtranti.

Metodi di Butterworth, Chebyshev, Cauer, Bessel. Trasformazioni in frequenza.

3. Sintesi di reti passive.

Metodi canonici per la sintesi di immittenza LC, RC ed RL. Sintesi di quadripolo LC semplicemente e doppiamente caricato mediante reti a scala. Sintesi di reti due porte passive RC a scala. Sintesi di reti due porte a resistenza costante: reti a L, a traliccio simmetrico, a T pontato.

4. Sensibilità.

Definizione di sensibilità e proprietà fondamentali. Sensibilità multiparametrica di tipo deterministico e statistico.

Sensibilità del guadagno.

5. Sintesi di reti attive.

Metodo dei blocchi in cascata e metodo dei blocchi accoppiati. Sintesi di poli e zeri reali. Filtri a retroazione positiva e negativa. Tecnica di sintesi mediante identità dei coefficienti. Metodi per l'aggiustamento del guadagno e per lo scalamento in ampiezza e frequenza. Teorema di complementarità e sue applicazioni. Filtri con tre amplificatori operazionali. Simulazione di reti a scala LC: sintesi con giratori, FDNR e mediante blocchi interlacciati. Realizzazione di giratori e FDNR con amplificatori operazionali.

6. Filtri a dati campionati.

Filtri a condensatori commutati.

7. Filtri tempo-continui realizzabili in tecnologia VLSI.

Circuiti a modo di tensione e a modo di corrente: cenni sui filtri MOSFET-C, OTA-C, con current conveyor.

**Disciplina:** 64132876 **TEORIA E TECNICA DELLE MICROONDE E ONDE MILLIMETRICHE** ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS TES **Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** BIFFI GENTILI GUIDO P1 ING-INF/02 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

