



## **GUIDA DIDATTICA del CORSO di LAUREA in SCIENZA DEI MATERIALI**

### **L'orizzonte culturale**

La SCIENZA DEI MATERIALI è una disciplina scientifica interdisciplinare, ove si uniscono e si completano le conoscenze e i metodi propri della fisica e della chimica della materia, in modo da approfondire le competenze sulla natura e sulle proprietà dei materiali, per comprendere quelli già esistenti ed eventualmente progettarne di nuovi, tenendo presente –oltre questo aspetto di ricerca– anche le applicazioni ingegneristiche e i processi di realizzazione industriale.

### **Il corso di studi in breve**

Il percorso formativo si propone di fornire allo studente solide basi teoriche e pratiche riguardanti la Scienza dei Materiali, una disciplina che per sua natura è una equilibrata miscela di conoscenze di fisica e di chimica indirizzate alla comprensione delle caratteristiche fondamentali dei materiali, sia quelli oggi disponibili che quelli che potranno essere “progettati” e realizzati nel prossimo futuro.

Gli insegnamenti dei primi tre semestri puntano a fornire le basi di Fisica (meccanica, elettromagnetismo e teoria della misura), Chimica (generale, inorganica ed organica), Matematica (Calcolo e Geometria) e di Informatica, indispensabili alla comprensione degli insegnamenti più formativi di Fisica e Chimica che si svolgeranno nei semestri successivi. Nel quarto e quinto semestre si forniranno corsi relativi alla comprensione della Meccanica Quantistica, dell'Elettronica, della Chimica Fisica e Chimica dei Solidi. Infine l'ultimo semestre fornisce un corso di Fisica dei Solidi e di Fisica dei Materiali.

Ad orientare fortemente la professionalità dello studente concorre anche lo stage esterno obbligatorio, salvo diversa decisione del Consiglio di Corso di Studi, che completa la formazione triennale degli studenti di questo corso.

La durata del corso di laurea in Scienza dei Materiali è di tre anni accademici ed è proposto in un unico curriculum. Ad ogni studente immatricolato viene assegnato un docente tutor che lo segue e lo consiglia durante tutto il percorso formativo.

### **Modalità di accesso**

Il corso è ad accesso libero. Per l'ammissione al corso è previsto un test di accesso obbligatorio, al fine di valutare le conoscenze pregresse degli studenti, ed individuare eventuali debiti formativi.

Il test di norma viene effettuato agli inizi di settembre e, *previa indicazione del Consiglio di Corso di Laurea*, può essere riproposto in una sessione autunnale.

Per l'a.a. 2021/2022 a causa dell'emergenza COVID19 verrà predisposta una piattaforma di ateneo per lo svolgimento del test di ammissione on-line.

Le modalità di accesso sono ancora in corso di definizione. L'obiettivo è di permettere di accedere al test on line a partire da giugno 2021, rendendo possibile anche l'immatricolazione contestualmente alla compilazione del test.

Per ulteriori informazioni consultare il seguente link:

<http://www.scienze.uniroma2.it/?cat=385&catParent=16>) e/o contattare il Coordinatore del CdS in Scienza dei Materiali – prof. Claudio Goletti ([claudio.goletti@roma2.infn.it](mailto:claudio.goletti@roma2.infn.it) – tel. n. 06.7259.4288); Segreteria studenti della Macroarea di Scienze ([segreteria.studenti@scienze.uniroma2.it](mailto:segreteria.studenti@scienze.uniroma2.it) - tel. n.06.7259.4832)

### **Date per le immatricolazioni al corso di laurea in Scienza dei Materiali**

<u>Termine preiscrizione:</u>	come indicato sul bando di ammissione al corso di laurea
<u>Data Test:</u>	come indicato sul bando di ammissione al corso di laurea
<u>Pubblicazione graduatoria:</u>	come indicato sul bando di ammissione al corso di laurea
<u>Scadenza immatricolazioni:</u>	come indicato sul bando di ammissione al corso di laurea
<u>Inizio delle lezioni:</u>	04 ottobre 2021

### **Trasferimenti**

Il trasferimento da altri atenei può essere accolto in base alle possibilità logistiche. In questo caso, allo studente potranno essere riconosciuti i crediti conseguiti nella sua precedente carriera. A tale scopo, gli studenti dovranno presentare domanda preliminare nei modi ed entro i termini indicati sul bando di ammissione.

### **Obiettivi formativi**

Il Corso triennale di Laurea in Scienza dei Materiali ha l'obiettivo di assicurare allo studente frequentante l'acquisizione di conoscenze di base sulle proprietà chimiche e fisiche dei materiali, di capacità sperimentali per la loro caratterizzazione, di competenze tecnico- professionali per il loro utilizzo a scopo applicativo.

Il piano degli insegnamenti propone di sviluppare:

- un'approfondita conoscenza di base della chimica e della fisica nei loro aspetti sperimentali e teorici;
- la comprensione e l'utilizzo degli strumenti matematici appropriati e una adeguata conoscenza di strumenti informatici per la gestione di dati e risultati;
- una solida metodologia di lavoro e un'impostazione interdisciplinare orientata alla risoluzione dei problemi;
- competenze specifiche di laboratorio, attraverso una pluralità di tecniche nei campi dell'analisi, della caratterizzazione e della sintesi di materiali;
- capacità di comunicazione scientifica e di lavoro coordinato all'interno di gruppi.

Il processo formativo del Corso di Laurea viene attuato tramite:

- Frequenza obbligatoria a numerosi corsi di laboratorio;
- Insegnamenti di base di Chimica e Fisica - in quantità bilanciata e affiancati da insegnamenti di

Matematica – particolarmente rivolti alla risoluzione dei problemi;

- Sviziati insegnamenti specifici di Scienza dei materiali tramite i quali gli studenti vedono via via integrarsi i due diversi approcci, chimico e fisico, allo studio dei materiali;
- Stage finale presso aziende o enti di ricerca (pubblici o privati) che operano nel settore dei materiali e che hanno sottoscritto specifici accordi di collaborazione didattica con il presente Corso di Laurea.

### **Risultati di apprendimento attesi**

#### Capacità di applicare conoscenza e comprensione (*applying knowledge and understanding*)

I laureati in Scienza dei Materiali acquistano durante il loro percorso formativo vaste conoscenze di base. Per quanto riguarda la matematica, sono in grado di comprendere ed affrontare calcoli differenziali, integrali e di analisi funzionale, di livello universitario. Gli insegnamenti di fisica di base permettono di affrontare e risolvere problemi di meccanica, termodinamica, ottica ed elettromagnetismo. L'alta frequentazione di laboratori didattici fornisce una precisa cognizione del concetto di misura e dell'analisi degli errori. I laureati in questa disciplina sono in grado di trattare i fenomeni della meccanica quantistica conoscendone il formalismo necessario per la fisica ed la chimica dello stato solido. Apprendono i principi basilari della Chimica Organica ed Inorganica, in termini di conoscenza delle proprietà generali degli elementi, dei legami che definiscono la struttura dei composti e delle leggi fondamentali che ne regolano le trasformazioni chimiche e fisiche, e le principali tecniche di caratterizzazione ed analisi chimico-fisica dei materiali e dei composti. Sono in grado di affrontare argomenti scientifici nuovi e di leggere testi in inglese su argomenti di punta della scienza dei materiali.

#### Autonomia di giudizio (*making judgements*)

Capacità di raccogliere ed interpretare i dati sperimentali, avendo acquisito esperienza pratica con apparati di misura moderni ed essendo in grado di utilizzare adeguatamente gli strumenti di calcolo; capacità di stimare gli ordini di grandezza e isolare i fattori principali che influiscono sulla precisione del risultato di una misura. Queste capacità sono acquisite nei corsi di laboratorio in Fisica e in Chimica, che prevedono l'insegnamento dell'elaborazione e analisi dei dati, e sono verificate mediante l'elaborazione di relazioni (obbligatorie), nelle quali gli studenti devono elaborare i dati in modo autonomo.

#### Abilità comunicative (*communication skills*)

Abilità nel comunicare efficacemente informazioni, idee, problemi e soluzioni in forma orale e scritta, a uditori sia specialistici che generici, anche utilizzando la lingua inglese e le tecnologie messe a disposizione dall'informatica. Gli studenti devono imparare a comunicare, in forma orale e scritta, il contenuto dei propri studi. Tale capacità viene accertata in fase di esame e/o di prova in itinere. In particolare, come descritto nel quadro precedente, le relazioni di laboratorio devono mostrare la capacità degli studenti di esprimere concetti scientifici. Gli studenti possono opzionalmente formulare relazioni ed esami in lingua inglese. Devono comunque mostrare obbligatoriamente la propria capacità di esprimere concetti scientifici in inglese, mediante un esame di idoneità specifico.

#### Capacità di apprendimento (*learning skills*)

Capacità di apprendimento che consentano di accedere ai corsi di studio di secondo livello e che comunque rendano lo studente in grado di aggiornarsi autonomamente nelle materie di competenza.

Oltre alle relazioni di laboratorio, tutti i corsi includono prove finali e/o in itinere, di norma scritte, che accertano la capacità di apprendimento degli studenti, sia guidate, sia autonome. La prova finale, come descritto in seguito, costituisce una ulteriore verifica delle capacità di apprendimento ed esposizione autonome dello studente.

#### Ambiti occupazionali previsti per i laureati

Il corso di laurea in Scienza dei materiali garantisce l'accesso senza debiti ad almeno un corso di Laurea Specialistica (laurea magistrale in Scienza e Tecnologia dei Materiali).

Inoltre, sono possibili sbocchi lavorativi: l'accesso a professioni tecniche in organizzazioni governative o settori privati (banking, compagnie di assicurazione, servizi) a livelli decisionali intermedi; l'impiego nell'industria come assistenti tecnici (ad esempio in settori quali elettronica, software/computing, telecomunicazioni, sintesi e caratterizzazione dei materiali); l'impiego nel settore delle scienze e tecnologie informatiche; il ruolo di insegnante in organizzazioni private.

I settori industriali interessati a queste figure professionali sono prevalentemente quelli manifatturieri coinvolti in produzioni di beni con caratteristiche di tipo chimico, meccanico o elettronico, senza trascurare settori di produzione per il miglioramento dell'ambiente, il risparmio di energia e della conservazione de beni culturali.

Sono altresì interessati a tali figure professionali gli enti di ricerca pubblici e privati.

#### **Struttura della didattica**

##### Frequenza

Gli insegnamenti hanno solitamente una durata semestrale, con l'eccezione dei corsi di laboratorio di Fisica sperimentale, e di Chimica generale inorganica con laboratorio che -articolati su due moduli- si estendono su due semestri.

##### Propedeuticità

Gli esami dei corsi aventi lo stesso titolo devono essere superati seguendo il numero d'ordine (esempio: Calcolo 2 non può essere sostenuto prima di avere superato Calcolo 1).

Inoltre non si possono sostenere:

- l'esame di Fondamenti di Fisica Atomica e Molecolare se non si è sostenuto l'esame di Elementi di Fisica Teorica;
- l'esame di Metodi Matematici se non si sono sostenuti gli esami di Geometria e di Calcolo 1 e 2.

Non si può inoltre sostenere nessun esame di Chimica se non si è precedentemente superato l'esame di Chimica Generale con Laboratorio. Infine non si può svolgere lo Stage finale se non si sono superati tutti gli esami dei primi 5 semestri.

##### Piani di studio

Ogni studente deve presentare un piano di studio individuale con l'indicazione dei corsi liberi scelti dalla Tabella aggiornata all'anno Accademico in corso. Gli studenti dovranno sottoporre ad approvazione del Consiglio del Corso di Laurea il piano di studi individuale, prima dell'inizio del secondo semestre del III anno. Gli studenti hanno la facoltà di modificare il piano di studi già presentato, sottoponendone uno nuovo al Consiglio di Corso di Laurea per l'approvazione.

Tirocinio e Prova finale

L'attività di tirocinio è obbligatorio nel corso di laurea in Scienza dei Materiali. L'Ateneo ha attivato un servizio di assistenza per i tirocini esterni

(<http://www.scienze.uniroma2.it/?cat=19&catParent=16>).

La prova finale è costituita dalla discussione pubblica del lavoro svolto durante lo "tirocinio esterno".

L'attività di tirocinio, della durata di tre mesi, si svolge normalmente presso ditte manifatturiere operanti nel settore elettronico, chimico, meccanico o presso imprese attive nella realizzazione o caratterizzazione di nuovi materiali. Inoltre il tirocinio può essere svolto presso enti di ricerca pubblici o privati interessati alle proprietà dei materiali. L'attività di tirocinio deve essere seguita da un tutore interno all'Università e supervisionata da un tutore indicato dalla azienda o dall'ente di ricerca. La commissione di docenti esprime il suo giudizio in base ad una valutazione complessiva che tenga in considerazione la carriera dello studente, la qualità del lavoro svolto e della presentazione. Il voto finale, espresso in trentesimi è successivamente convertito in centodecimi con eventuale lode.

Eccezionalmente il "tirocinio" può svolgersi anche con modalità differenti da quelle indicate a seguito di una specifica delibera del Consiglio di Corso di Studio.

**OFFERTA FORMATIVA****1° ANNO****I° semestre**

[B]	Mat/05	Matematica 1	10 cfu
[AI]	Chim/03	Chimica Generale Inorganica con Lab (Mod. I)	10 cfu
[C]	Fis/01	Laboratorio di Fisica Sperimentale I	5 cfu
[--]	L-lin/12	Inglese	4 cfu
[--]	---	Corso a scelta *	3 cfu

**II° semestre**

[B]	Chim/03	Chimica Generale Inorganica con Lab (Mod. II)	5 cfu
[B]	Fis/01	Fisica Sperimentale 1	10 cfu
[B]	Mat/05	Matematica 2	6 cfu
[AI]	Chim/06	Chimica Organica con Laboratorio	9 cfu

**2° ANNO****I° semestre**

[B]	Fis/01	Fisica Sperimentale II	10 cfu
[C]	Fis/02	Metodi Matematici	6 cfu
[AI]	Chim/02	Chimica Fisica con Laboratorio	9 cfu
[C]	Fis/01	Laboratorio di Fisica Sperimentale 2	5 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/01	Elementi di Fisica Teorica	7 cfu
-----	--------	----------------------------	-------

[B]	Inf/01	Laboratorio di Informatica	6 cfu
[AI]	Chim/02	Chimica delle Macromolecole con Laboratorio	6 cfu
[C]	Fis/01	Laboratorio di Elettronica	6 cfu
[---]	---	Corso a scelta	3 cfu

### 3° ANNO

#### I° semestre

[C]	Fis/03	Fondamenti di Fisica Atomica e Molecolare	8 cfu
[AI]	Chim/03	Chimica dei Solidi con Laboratorio	8 cfu
[AI]	Chim/01	Chimica Analitica con Laboratorio	8 cfu
[C]	Fis/03	Fisica dei Materiali con Laboratorio	8 cfu

#### II° semestre

[C]	Fis/03	Fisica dei Solidi	6 cfu
[---]	---	Corso/i a scelta	6 cfu
[---]	---	Tirocinio	12 cfu
[---]	---	Prova Finale	4 cfu

\* Corso a scelta consigliato "Introduzione alla Scienza dei Materiali".

Al fine di agevolare la scelta dei corsi liberi la Segreteria didattica del Corso di Laurea mette a disposizione un elenco di corsi (3 CFU) che viene aggiornato all'inizio di ogni Anno Accademico.

\* \* \* \* \*

### Programmi degli insegnamenti

NOTA: Per maggiori dettagli sugli insegnamenti erogati sarà sufficiente collegarsi alla pagina [Docenti e Programmi](#) e cliccare la voce programma.

#### MATEMATICA 1 - 10 CFU

Prof. Ugo Locatelli [I anno - I semestre]

##### Programma

- *in italiano*

Numeri reali, numeri complessi. Funzioni reali. Continuità. Derivate. Studi di funzioni. Integrali definiti e indefiniti. Teorema fondamentale del calcolo. Successioni. Calcolo combinatorio. Formula di Taylor. Equazioni differenziali (cenni). Risoluzione dei sistemi lineari, eliminazione di Gauss. Rango di una matrice e numero dei parametri liberi dello spazio delle soluzioni di un sistema lineare. Autovalori e autovettori, riduzione di una matrice simmetrica a una forma diagonale. Elementi di algebra: gruppi e gruppi commutativi; anelli, campi.

- *In inglese*

*Real numbers, complex numbers. Real functions. Continuity. Derivatives. Graphical study of functions. Fundamental theorem of the calculus. Sequences. Taylor formula. Differential equations (just an introduction). Solution of linear systems, Gauss' elimination method. Rank of a matrix and number of free parameters in the space of the solutions of linear systems. Eigenvalues and eigenvectors, reduction of a symmetric matrix to a diagonal form. Elements of algebra: groups and abelian groups, rings, fields.*

\* \* \* \* \*

## **MATEMATICA 2 - 6 CFU**

*Prof. Andrea Braides (Fruito dal corso di Laurea Triennale in Chimica Applicata) [I anno - II semestre]*

### Programma

- *In italiano*

Limiti e calcolo differenziale per funzioni di più variabili reali.

Funzioni definite implicitamente.

Integrali curvilinei e forme differenziali

Integrali multipli

- *In inglese*

*Limits and differential calculus for functions of several real variables.*

*Implicitly defined functions.*

*Curvilinear integrals and differential forms*

*Multiple integrals*

\* \* \* \* \*

## **CHIMICA ANALITICA CON LABORATORIO - 8 CFU**

*Prof.<sup>ssa</sup> Danila Moscone [III anno - I semestre]*

### Programma

- *In italiano*

Scopi generali della chimica analitica; le varie fasi del processo analitico. Metodi elettrochimici di analisi. Potenziometria, ISE, Polarografia, Amperometria, Tecniche pulsate e di stripping. Sensori chimici e biosensori. Strumentazione relativa. Metodi spettrofotometrici di analisi. Misure di assorbimento ed emissione. Legge di Lambert-Beer, Deviazioni dalla legge di L-B. Assorbimento Atomico. Spettroscopia di emissione atomica. Fluorimetria. Strumentazione relativa. Metodi cromatografici di analisi. Estrazione con solventi. Cromatografia classica su colonna. Cromatografia di scambio ionico. Cromatografia di permeazione su gel. Cromatografia su carta e strato sottile. Gascromatografia. HPLC. Strumentazione relativa.

- *In inglese*

*General purposes of Analytical Chemistry, the steps of the analytical process. Electrochemical methods of analysis. Potentiometry, Polarography, Amperometry, Pulsed Techniques. Chemical sensors and biosensors. Related instruments. Spectrophotometric methods of analysis. Beer-Lambert law,*

*deviations from the law of LB. Atomic Absorption. Atomic Emission Spectroscopy. Fluorimetry. Related instruments. Chromatographic methods of analysis. Solvent extraction. Classical column chromatography. Ion exchange chromatography. Gel permeation chromatography. Paper and thin layer chromatography. Gas chromatography. HPLC. Related instruments.*

\* \* \* \* \*

### **CHIMICA DEI SOLIDI CON LABORATORIO - 8 CFU**

*Prof. Massimo Tomellini [III anno - I semestre]*

#### Programma

- *In italiano*

Reticoli cristallini. Diffrazione dei raggi X e determinazione delle strutture cristalline. Calore specifico dei solidi. Espansione termica. Compressibilità. Equazione di stato. Coesione dei solidi ionici, dei metalli e dei cristalli di gas nobili. Stabilità delle strutture di: NaCl, CsCl e ZnS. Termodinamica dei difetti di punto. Equilibri tra difetti e reazioni gas-solido. Ossidi semiconduttori. Trasporto di materia nei solidi. Leggi di Fick. Il "random walk". Equazioni di trasporto generalizzate. Coefficiente di diffusione chimico. Equazione di Nernst-Einstein. Sensori elettrochimici a stato solido. Ossidazione dei metalli, diagramma di Ellingham. Cinetica di ossidazione dei metalli. Teoria di Wagner. Tecniche per la caratterizzazione dei solidi: XPS (Xray Photoelectron Spectroscopy) AUGER, RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy), ISS (Ion scattering Spectroscopy), RAMAN Spectroscopy), SEM (Scanning Electron Microscopy).

- *In inglese*

*Crystal lattices. Crystal structure determination by X-ray diffraction. Quantum statistical mechanics. Specific heat of solids. Thermal expansion, isothermal compressibility and the equation of state. Cohesion of ionic and molecular solids. Ionic radii and the stability of ionic crystals. The thermodynamics of point defects. Homogeneous and heterogeneous reactions involving point defects. Semiconductor oxides. The transport of matter in the solid state: Fick's laws. Diffusion from infinitely thin layer. The correlation factor. The random walk. General linear transport equations. Chemical diffusion. The Nernst-Einstein equation. Solid state electrochemical cells. Oxide scale formation: thermodynamic and kinetic aspects. Wagner's theory of metal oxidation. Characterization of solids through spectroscopies: XPS (Xray Photoelectron Spectroscopy) AUGER, RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy), ISS (Ion scattering Spectroscopy), RAMAN Spectroscopy), SEM (Scanning Electron Microscopy).*

\* \* \* \* \*

### **CHIMICA FISICA E LABORATORIO DI CHIMICA FISICA - 9 CFU**

*Prof.<sup>ssa</sup> Emanuela Gatto [II anno - I semestre]*

#### Programma

- *In italiano*

Termodinamica. Reversibilità ed irreversibilità. Variabili e funzioni di stato termodinamiche. Teoria cinetica dei gas. Termodinamica dei gas ideali e reali. Lavoro. Calore, Energia Interna. Primo Principio



della Termodinamica. Entalpia. Termochimica. Macchine termiche. Rendimento. Entropia in sistemi chimici. Terzo principio della Termodinamica. Energia Libera di Helmholtz. Energia Libera di Gibbs. Potenziale chimico. Transizioni di fase. Diagrammi di fase. Sistemi a più componenti. Soluzioni ideali, regolari, reali. Lacune di miscibilità. Solubilità. Proprietà colligative. Diagrammi di fase a più componenti. Eutettico. Reazioni chimiche in fase gassosa. Condizione di equilibrio. Costante di equilibrio. Dipendenza della costante di equilibrio dalla temperatura. Soluzioni elettrolitiche. Celle galvaniche. Equazione di Nernst. La serie elettrochimica. Cinetica chimica. Legge cinetica. Ordini parziali di reazione. Cinetiche di reazioni elementari e complesse. Stadio lento di reazione. Teoria di Arrhenius. Cenni di spettroscopia. Interazione tra radiazione e materia, risonanze, nozioni di spettroscopia. Proprietà spettroscopiche di gas, liquidi e solidi.

Cenni di fotochimica e reazioni esplosive.

- *In inglese*

*Thermodynamic. Reversibility and Irreversibility. Thermodynamic State Variable and Functions. Kinetic theory of gas. Thermodynamics of real gasses. First Principle of Thermodynamics. Thermochemistry. Thermal Engines. Efficiency. Second Principle of Thermodynamics. Entropy in chemical systems. Third Principle of Thermodynamic. Helmholtz Free Energy. Gibbs Free Energy. Chemical Potential. Phase Transitions. Multicomponent systems. Solutions. Miscibility gap. Solubility. Colligative Properties. Multicomponents phase diagrams. Eutectic. Chemical reactions in gas phase. Chemical equilibrium. Equilibrium Constant. Dependence of the equilibrium constant from temperature. Chemical Kinetics. Phenomenological laws of chemical kinetics. Rate constants. Arrhenius law. Elements of Molecular Spectroscopy. Interaction between electromagnetic radiation and matter, resonance, spectroscopy notions. Spectroscopic properties of gas, liquids and solids. Photochemical and explosive reactions.*

\* \* \* \* \*

### **CHIMICA GENERALE INORGANICA CON LABORATORIO (Mod.1) - 10 CFU**

Prof.<sup>ssa</sup> Susanna Piccirillo [I anno - I semestre]

#### Programma

- *In italiano*

La struttura dell'atomo. Sistema periodico degli elementi. Legame chimico (ionico, covalente, metallico). Forze intermolecolari e legame a idrogeno. Stato della materia. Rapporti ponderali nelle reazioni chimiche. Numero di ossidazione. Bilanciamento delle reazioni chimiche. Termodinamica. Funzioni di stato. Equilibri tra fasi. Equilibri chimici omogenei ed eterogenei. La costante di equilibrio termodinamico. Equilibri di solubilità. Dissociazione elettrolitica. Soluzioni e proprietà colligative. Equilibri acido-base in soluzione acquosa: pH, idrolisi, soluzioni tampone, indicatori. Sistemi ossidoriduttivi: potenziali elettrodi, pile, equazione di Nernst, elettrolisi, legge di Faraday.

- *In inglese*

*Atomic structure. Periodic table of the elements. Chemical bonding (ionic, covalent, metallic). Intermolecular forces and hydrogen bonding. State of matter. Weight relations in chemical reactions. Oxidation number. Balance of chemical reactions. Thermodynamics. State functions. Equilibrium between phases. Homogeneous and heterogeneous chemical equilibria. The thermodynamic equilibrium*

*constant. Solubility equilibria. Electrolytic dissociation. Solutions and colligative properties. Acid-base equilibria in aqueous solution: pH, hydrolysis, buffer solutions, indicators. Redox systems: electrode potentials, batteries, Nernst equation, electrolysis, Faraday's law.*

\* \* \* \* \*

### **CHIMICA GENERALE INORGANICA CON LABORATORIO (Mod.2) - 5 CFU**

*Dott.ssa Emanuela Tamburri* [I anno - II semestre]

#### Programma

- *In italiano*

Richiami di teoria atomica. Metodo VB e degli Orbitali Molecolari. Molecole biatomiche omonucleari degli elementi del I e II periodo. Molecole biatomiche eteronucleari (CO, NO, HF, H<sub>3</sub>, H<sub>3</sub><sup>+</sup>, CH<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e benzene). Il legame di coordinazione. Teoria del campo cristallino e MO. Alcuni esempi. Solidi elementari. Teoria degli orbitali molecolari applicata ai solidi. Metalli, semiconduttori, isolanti. Il legame ionico. L'energia del reticolo ionico. Proprietà generali di fasi condensate dovute a legami di tipo ionico, covalente, molecolare e metallico. Cinetica chimica. Meccanismi delle reazioni. Principi di catalisi eterogenea ed omogenea ed applicazioni ad alcuni processi fondamentali (sintesi dell'ammoniaca, produzione di acido acetico via processo Monsanto, polimerizzazione di olefine mediante processo Ziegler-Natta). La chimica di coordinazione. Teoria del Campo Cristallino (CFT) e MO applicata allo studio della struttura dei complessi dei metalli di transizione. Sistematica chimica. L'idrogeno. Preparazione e principali impieghi. I composti dell'idrogeno: idruri salini, idruri metallici e composti binari molecolari. Preparazione e proprietà generali chimico-fisiche degli elementi dei principali gruppi: C, Si, Sn, Pb, N e P. con particolare riferimento ai carburi salini e metallici.

- *In inglese*

*Basic principles of atomic theory: Valence Bond Theory and Molecular Orbital Theory. Homonuclear and heteronuclear simple biatomic and triatomic molecules: CO, NO, HF, H<sub>3</sub>, H<sub>3</sub><sup>+</sup>, CH<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O and benzene. Ionic and metallic bond, some examples. Chemical reaction kinetics. Heterogeneous and homogeneous catalysis. Some examples of fundamental industrial processes (synthesis of ammonia, the Monsanto acetic acid production, and Ziegler-Natta polymerisation of olefins). Coordination chemistry: CFT and MO theory to the study of the structure and properties of transition metals complexes. The inorganic chemistry of the principal elements of the main groups and hydrogen (B, C and carbides, Si, Sn, Pb, N, P and their hydrides).*

\* \* \* \* \*

### **CHIMICA DELLE MACROMOLECOLE CON LABORATORIO - 6 CFU**

*Dott.ssa Ester Chiessi - Dott. Fabio Domenici (codocenza)* [II anno - II semestre]

#### Programma

*In italiano*

Cenni storici sulla scienza dei polimeri. Definizioni. Caratteristiche e proprietà delle macromolecole. Comportamento termo-meccanico. Grado di polimerizzazione. Temperatura di transizione vetrosa. Medie e distribuzioni numerali e ponderali del peso molecolare. Indice di polidispersione.

Polimerizzazione con meccanismo a stadi: teoria di Carothers; teoria statistica; cinetica; metodi di sintesi. Polimerizzazione a stadi non lineare: il fenomeno della gelazione.

Polimerizzazione radicalica a catena: meccanismo; velocità di polimerizzazione; lunghezza cinetica di catena; auto accelerazione; processi di trasferimento di catena; distribuzioni del peso molecolare; temperatura di Ceiling; tecnologie di polimerizzazione; polimerizzazione radicalica pseudo vivente.

Tatticità: polimeri stereo regolari e loro proprietà fisiche e chimiche.

Dimensioni medie di una catena disordinata: distanza testa-coda, raggio di girazione, lunghezza di contour. Il modello della catena Gaussiana: media e distribuzione dei valori della distanza testa-coda.

Restrizioni conformazionali rispetto al modello gaussiano: effetto dell'angolo di legame e della torsione diedrale sulla distanza testa-coda. Effetto pentano. Catena equivalente, rapporto caratteristico, segmento di Kuhn. Effetti di volume escluso sulla dimensione di polimeri.

Termodinamica del mescolamento di polimeri: frazioni in volume; condizioni Theta; teoria di Flory-Huggins. Lacuna di miscibilità di soluzioni polimeriche. Condizioni critiche. Curve binodale e spinodale.

Cenni su proprietà idrodinamiche di polimeri in soluzione: catene free-draining e non free-draining.

Viscosità. Peso molecolare medio viscosimetrico. Metodi di frazionamento: cromatografia a permeazione di gel, precipitazione frazionata. Soluzioni diluite. Pressione osmotica.

Fibre ed elastomeri: aspetti strutturali. Termodinamica della deformazione di elastomeri. L'elastomero come molla entropica. Teoria statistica dell'elasticità. Isteresi meccanica degli elastomeri. Parametri relativi alla deformazione di materiali polimerici: modulo di Young, modulo di bulk, rapporto di Poisson. Curve sforzo-deformazioni di polimeri duttili. Punto di snervamento.

Laboratorio: Caratterizzazione di polimeri termoplastici mediante calorimetria a scansione differenziale. Spettroscopia IR per il riconoscimento di campioni polimerici commerciali. Sintesi del nylon 6,10 all'interfaccia acqua/esano.

- *In inglese*

*Historical introduction to polymer science. Definition of polymer systems. Structural and physico-chemical properties of macromolecules. Classification of polymers based on mechanical and thermal behaviour. Glass transition temperature.*

*Average molecular weights and their distributions. Index of polydispersity.*

*Step polymerization: Carothers's theory; statistical theory; kinetics; methods of synthesis. Non linear step polymerization: gelling.*

*Radical chain polymerization: mechanism; velocity of polymerization; kinetic chain length; autoacceleration; chain transfer processes; molecular weight distributions; Ceiling temperature; technologies of polymerization; pseudo-living radical polymerization.*

*Tacticity and its influence on physical and chemical properties of polymers.*

*Average chain dimension: end-to-end distance, radius of gyration, contour length. Random chain conformation, Gaussian chain, average and distribution of the end-to-end distance for a Gaussian chain.*

*Correction to the Gaussian chain model: effect of bond angle and dihedral angle on the end-to-end distance. Pentane effect. Equivalent chain, characteristic ratio, segment of Kuhn. Excluded volume effects on the size of polymers.*

*Thermodynamics of mixing for polymer solution. Volume fraction. Theta conditions. Flory-Huggins theory for polymer solution. Mixing gaps. Critical conditions. Binodal and spinodal curves.*

*Introduction to polymers hydrodynamics in solution: free-draining and non free-draining chain.*

*Viscosity. Viscosity average molecular weight. Polymers fractioning methods: gel permeation chromatography, fractioning by selective precipitation. Dilute polymer solution. Osmotic pressure. Fibres and elastomers. Thermodynamics of elasticity. Elastomer as an entropy spring. Statistic theory of elasticity. Mechanical hysteresis of elastomer. Deformation of polymer materials: Young's and bulk moduli, Poisson's ratio. Stress-strain curves of a ductile polymer. Yield strength. Laboratory: Characterization of thermoplastic polymers by differential scanning calorimetry. IR spectroscopy measurements on commercial polymer materials. Synthesis of nylon 6,10 at the hexane/water interface.*

Testi Consigliati:

Young and Lovell "Introduction to Polymers" Second Edition. Chapman and Hall, London (1991)

\* \* \* \* \*

**CHIMICA ORGANICA CON LABORATORIO - 9 CFU**

Prof.<sup>ssa</sup> Valeria Conte – Prof. Pierluca Galloni (mutuato dal CdL in Chimica) [I anno - II semestre]

Programma

- *In italiano*

Introduzione alle molecole organiche e ai gruppi funzionali. Nomenclatura. Rappresentazioni delle molecole. Forze intermolecolari. Correlazioni struttura-proprietà fisiche. Spettroscopia UV-vis e IR. Solventi, solubilità. Introduzione alla spettrometria NMR (1H e 13C). Risonanza ed aromaticità. Proprietà acido-base di molecole organiche (Brønsted e Lewis). Spettrometria di massa. Conformazioni e Configurazioni (Stereoisomeri geometrici ed ottici). Introduzione alla cinetica ed al meccanismo di reazione. Reazioni delle principali classi organiche: Alcani e cicloalcani, Alogenuri alchilici, Alcoli, Eteri, Ammine, Alcheni, Alchini, Dieni Composti aromatici. Composti carbonilici e loro derivati azotati, Acidi carbossilici e loro derivati (esteri, ammidi, anidridi, alogenuri acilici, nitrili).

- *In inglese*

*Introduction to organic molecules and functional groups. Nomenclature. Rules to write molecules. Mass Spectrometry. Intermolecular interactions. Relationship between structure and physical properties. UV-vis and IR spectroscopies. Solvents and solubility. Introduction to 1H and 13C NMR spectra. Resonance and aromaticity. Electronic substituent effects (inductive and conjugative). Organic acids and bases (Brønsted and Lewis). Conformations and configurations (geometrical and optical stereoisomers). Introduction to chemical kinetics and reaction mechanisms. Reactions of main classes of organic compounds. Alkanes and cycloalkanes, Alkyl halides, Alcohols, Ethers, Amines, Alkenes, Alkynes, Dienes, Aromatic compounds, Aldehydes and Ketones and their nitrogen derivatives, Carboxylic acids and Acylic derivatives (esters, amides, anhydrides, acyl halides, nitriles).*

\* \* \* \* \*

**ELEMENTI DI FISICA TEORICA - 7 CFU**

Prof. Gianluca Stefanucci - Dott. Enrico Perfetto (codocenza) [II anno - II semestre]

Programma

- *In italiano*

Necessita' di abbandonare la fisica classica. I primi cinque postulati della meccanica quantistica. Osservabili a spettro discreto e a spettro continuo. Basi di meccanica analitica: Lagrangiana e Hamiltoniana. Postulato di Dirac. Equazione di Schroedinger. Teorema di Ehrenfest. Principio di Heisenberg. Sistemi quantistici in spazi di Hilbert di dimensione finita. Particella in una dimensione: Potenziale costante a tratti, potenziale a delta di Dirac, coefficienti di riflessione e trasmissione, Oscillatore armonico e stati coerenti. Particella in tre dimensioni: Accoppiamento minimale, equazione di continuita', momento angolare, armoniche sferiche, atomo di idrogeno. Spin e composizione dei momenti angolari. Teoria delle perturbazioni per la correzione dei livelli energetici. Teoria delle perturbazioni per evoluzione temporale.

- *In inglese*

*The need to abandon classical physics. The first five postulates of quantum mechanics. Observables with discrete and continuum spectra. Fundamentals of analytical mechanics: Lagrangian and Hamiltonian. The Dirac postulate. Schroedinger equation. Ehrenfest theorem. Heisenberg principle. Quantum systems in finite dimensional Hilbert spaces. Particle in one dimension: piecewise constant potential, Dirac delta potential, reflection and transmission coefficients, harmonic oscillator and coherent states. Particle in three dimensions: Minimal coupling, continuity equation, angular momentum, spherical harmonics, hydrogen atom. Spin and composition of angular momenta. Perturbation theory for the correction of energy levels. Perturbation theory by temporal evolution.*

Testo Consigliato

*Dispense del docente.*

\* \* \* \* \*

### **FISICA DEI MATERIALI CON LABORATORIO - 8 CFU**

*Dott. Luca Camilli - Prof. Roberto Francini (codocenza) - Dott.<sup>ssa</sup> Beatrice Bonanni (codocenza)*

[III anno - I semestre]

Programma

- *In italiano*

Introduzione dei concetti di fabbricazione, struttura, proprietà e prestazioni di un materiale e loro correlazione. Ciclo dei materiali. Le forze di coesione. Stato solido, condensazione della materia, cristalli. Strutture cristalline. Reticolo diretto. Vetri e varie altre aggregazioni dello stato condensato. Diffrazione di raggi X. Struttura molecolare dei polimeri organici. Imperfezioni nei solidi. Difetti puntiformi, dislocazioni, bordi di grano. Microscopia ottica ed elettronica. Diffusione. Proprietà meccaniche di metalli, vetri e polimeri: resistenza, sforzo e deformazioni, energia di deformazione ed effetto anelastico. Dislocazioni e meccanismi per aumentare la resistenza. Rottura dei materiali. Leghe e diagrammi di fase. Trasformazioni di fase. Acciai. Proprietà elettriche, termiche ed ottiche. Modello di Drude: conducibilità elettrica, effetto Hall, riflettività dei metalli. Proprietà magnetiche. Esperienza di diffrazione di raggi X, ; esperienza di proprietà meccaniche di acciaio, alluminio, rame, polimeri; esperienza di sinterizzazione; di analisi al microscopio a scansione elettronica; esperienza di assorbimento di luce; esperienze di misure elettriche di realizzazione e misura di una cella solare commerciale e una a base di nanotubi di carbonio e silicio.

- *In inglese*

*Introduction of to the concepts of fabrication, structure, properties and performance of a material and their inter-correlation. Material cycle. The cohesion forces. Solid state, condensation of matter, crystals. Crystalline structures. Direct network Direct lattice. Glasses and various other aggregations of the condensed state. X-ray diffraction. The molecular structure of organic polymers. Imperfections Defecxts in solids. : Point defects, dislocations, grain boundaries. Optical and electronic microscopy. Diffusion. Mechanical properties of metals, glass and polymers: resistance; strain and deformations, deformation energy and inelastic effect. Dislocations and mechanisms to increase resistance. Breaking Fracture of materials. Alloys and phase diagrams. Phase transformations. Steels. Electrical, thermal and optical properties. Drude model: electrical conductivity, Hall effect, metal reflectivity. Magnetic properties. Experience of X-rays diffraction, ; mechanical properties of steel, aluminum, copper, polymers; sinterization; scanning electron microscope; fabrication and measurement of a commercial solar cell and one based on silicon and carbon nanotubes absorption of light; evaluation of electrical properties.*

\* \* \* \* \*

## **FISICA DEI SOLIDI - 6 CFU**

*Prof. Massimo Fanfoni - Dott. Matteo Salvato (codocenza) [III anno - II semestre]*

### Programma

- *In italiano*

#### **1) Gli stati elettronici nei cristalli**

- 1.1) Caso 1D
  - 1.1.1) Teorema di Bloch-Floquet
  - 1.1.2) Modello di Kronig-Penney
  - 1.1.3) Approssimazione Tight binding
    - 1.1.3.1) Modello di Huckel per un catena chiusa

#### **1.2) Caso 3D**

- 1.2.1) Richiami sul reticolo diretto e sul reticolo reciproco
- 1.2.2) Teorema di Bloch in 3D
- 1.2.3) Condizioni cicliche al contorno o condizioni di Born-von Karman
- 1.2.4) Densità degli stati (DOS) e punti critici in 1, 2 e 3 dimensioni

#### **1.3) Teoria delle bande**

- 1.3.1) Metodo Tight binding (TB-LCAO)
- 1.3.2) Modello di Drude
- 1.3.3) Gas omogeneo di elettroni (Modello a Jellium)

#### **2) La struttura fononica**

- 2.1) Catena di atomi: 1 atomo per cella
- 2.2) Catena con 2 atomi per cella
- 2.3) Generalizzazione al caso 3D

#### **3) Semiconduttori**

- 3.1) Correnti nei semiconduttori: Drift e diffusione.
- 3.1) Concetto di lacuna
- 3.2) Densità dei portatori
  - 3.2.1) Massa efficace e densità degli stati nel Si e nel Ge
  - 3.2.2) Legge dell'azione di massa
- 3.3) Semiconduttori intrinseci
- 3.4) Neutralità di carica, posizione del livello di Fermi (Potenziale chimico)
- 3.5) Semiconduttori estrinseci
  - 3.5.1) Hamiltoniana; approssimazione della massa efficace

3.5.2) Posizione del livello di Fermi (Potenziale chimico)

3.6) Giunzione P-N e cenni sui MOSFET

#### 4) Magnetismo nei solidi

4.1) Concetto di Magnetizzazione

4.1.1) Teorema di Bohr-van Leeuwen

4.2) Livelli di energia per un gas di elettroni 2D in campo magnetico (gauge di Landau); livelli di Landau e loro degenerazione

4.3) Livelli di energia per un gas di elettroni 3D in campo magnetico

4.3.1) Suscettività magnetica orbitale; Effetto De Hass - van Alphen

4.4) MagnetoResistività- Effetto Hall (classico)

4.4.1) Mezzo isotropo con una banda (tensore della magnetoconducibilità): magneto-resistività parallela, magneto-resistività di Hall, coefficiente di Hall

4.4.2) Mezzo isotropo con due bande

4.5) Diamagnetismo e paramagnetismo

4.5.1) Suscettività degli isolanti con gusci chiusi: Diamagnetismo di Larmor

4.5.2) Suscettività degli isolanti con gusci aperti: paramagnetismo: legge di Curie

4.5.3) Suscettività dei metalli: paramagnetismo di Pauli

4.5.4) Diamagnetismo degli elettroni di conduzione e nei semiconduttori drogati.

4.6) Interazione degli elettroni e strutture magnetiche

4.6.1) Interazione dipolare

4.6.2) Proprietà magnetiche di un sistema con 2 elettroni (stati di singoletto e tripletto)

4.6.3) Interazioni magnetiche nel gas di elettroni liberi

4.7) Ordine Magnetico

4.7.1) Suscettività ad alta temperatura

4.7.2) Punti critici: teoria di campo medio

\* \* \* \* \*

### **FISICA SPERIMENTALE 1 - 10 CFU**

*Prof. Claudio Goletti - Dott. Luca Camilli (codocenza) [I anno - II semestre]*

#### Programma

- *In italiano*

Meccanica: fenomeni, osservazioni, misure. I vettori. Operazioni sui vettori. Cinematica del punto materiale. Dinamica del punto materiale. Sistemi di riferimento: inerziali e non inerziali. Moti relativi. Lavoro ed energia. Moto armonico. Dinamica dei sistemi di punti materiali. Urti elastici ed anelastici. Dinamica dei corpi rigidi. Elementi di relatività ristretta. Esperimento di Michelson-Morley. Trasformazioni di Lorentz. Dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze. Calorimetria. La temperatura e il calore. Gas reali e gas perfetti. Primo principio della termodinamica. Gas ideali e reali. Secondo principio della termodinamica. Entropia. Potenziali termodinamici. Terzo principio della termodinamica

- *In inglese*

*Mechanics: phenomena, experiments and measurements. Vectors. Kinematics and dynamics of a single particle. Inertial and non-inertial frames of reference. Work and energy. Harmonic motion. Dynamics of a system of particles. Elastic and inelastic collisions. Dynamics of a rigid body. Basic elements of the theory of special relativity. Experiment of Michelson and Morley. Lorentz transformation equations. Calorimetry. Heat and temperature. First principle of thermodynamics. Ideal and real gases. Second principle of thermodynamics. Entropy. Thermodynamic potentials. Third principle of thermodynamics.*

\* \* \* \* \*

**FISICA SPERIMENTALE 2 - 10 CFU**

Prof. Roberto Francini [II anno - I semestre]

Programma

- *In italiano*

Carica elettrica, campi e potenziali; lavoro e energia elettrostatica, sistemi di conduttori, capacità; cenni sull'elettrostatica nei dielettrici. Corrente elettrica, fenomeni di conduzione e legge di Ohm; leggi di Kirchoff. Forza di Lorentz, campo magnetico nel vuoto, formule di Laplace, teorema di Ampère, Campi elettrici e magnetici variabili nel tempo: induzione elettromagnetica, legge di Faraday-Neumann, corrente di spostamento. Cenni sulle proprietà magnetiche della materia. Moto di particelle cariche in campi elettrici e magnetici. Equazioni di Maxwell. Fenomeni ondulatori: propagazione delle onde, equazione d'onda. Onde elettromagnetiche, vettore di Poynting. La luce.

- *In inglese*

*Electric charge, field and potential; work and energy, conductors, capacity, electrostatics in dielectrics. Electric current, conduction phenomena and Ohm's law, Kirchoff's laws. Lorentz force, the magnetic field in a vacuum, Laplace equations, Ampere's theorem, varying electric and magnetic fields: electromagnetic induction, Faraday-Neumann law, displacement current. Magnetic properties of matter. Motion of charged particles in electric and magnetic fields. Maxwell equations. Wave phenomena: wave propagation, wave equation. Electromagnetic waves, Poynting vector. Properties of light.*

\* \* \* \* \*

**FONDAMENTI DI FISICA ATOMICA E MOLECOLARE - 7 CFU**

Prof. Massimo Fanfoni – Prof. Claudio Goletti (codocenza) [III anno - I semestre]

Programma

- *In italiano*

Fisica Atomica: Interazione fine nell'atomo di idrogeno (equazione di Pauli); Atomo idrogenoide in campi (campo magnetico forte, medio e debole; campo elettrico polarizzabilità); Interazione dell'atomo di idrogeno con la radiazione elettromagnetica (transizioni elettroniche e regole di selezione di dipolo); atomo a due elettroni (trattazione perturbativa e variazionale dello stato fondamentale e perturbativa degli stati eccitati); Atomi a molti elettroni (multipletti), Approssimazione di Campo Centrale, Modello di Hatree-Fock. Fisica Molecolare: Approssimazione di Born-Oppenheimer; Ione idrogeno (LCAO); molecola H<sub>2</sub> (LCAO e VB); Interazione delle configurazioni e termine ionico nell'hamiltoniano; Modello di Huckel; Moto dei nuclei (vibrazioni e rotazioni); Principio di Franck-Condon. Esercitazioni numeriche riguardanti sia la fisica atomica, sia la fisica molecolare.

- *In inglese*

*Atomic Physics: Fine corrections for hydrogen atom (Pauli's equation); hydrogen atom and fields (strong and weak magnetic field; electric field and polarizability); Electromagnetic radiation and its interaction with matter (electronic transitions and selection rules in dipole approximation); two electrons atom (perturbative and variational approach for the fundamental state; perturbative*



approach for excited states); Many-electron atoms (multiplets), Central Field Approximation, Hartree-Fock theory. Molecular Physics: Born-Oppenheimer approximation;  $H_2^+$  (LCAO);  $H_2$  molecule (LCAO e VB); Configuration Interaction (LCAO-CI) and Heitler-London approach; Huckel model; Dynamics of nuclei (vibrations and rotations); Franck-Condon Principle. Problems solution both of atomic and molecular physics.

\* \* \* \* \*

#### **INGLESE - 4 CFU**

*Docente afferente al CLA*

##### Programma

- *In inglese*

MAIN OBJECTIVES. The course aims at the consolidation and improvement of the four language skills (reading, writing, listening, and speaking) through a wide range of activities in the field of science.

COURSE CONTENT. The lessons will be organized around various thematic units based on the course textbook and articles taken from authentic sources such as newspapers, the internet, specialized journals and hand-outs distributed in class. Each unit will focus on enhancing general language structures, vocabulary and functions on the basis of the readings and inclass discussions. Particular attention will be given to improving reading comprehension and summarizing skills.

\* \* \* \* \*

#### **LABORATORIO DI ELETTRONICA - 6 CFU**

*Dott. Matteo Salvato* [II anno - II semestre]

##### Programma

- *In italiano*

Linee di trasmissione: Impedenza caratteristica, tempo di ritardo e coefficiente di riflessione. principi di base del trasporto di carica nei semiconduttori: legge di azione di massa, correnti di drift e di diffusione, drogaggio, giunzione p-n. Caratteristica I-V del diodo. Applicazioni del diodo: raddrizzatore a semionda, a doppia onda, a ponte di Graetz, circuito livellatore, ripple. Transistor: funzionamento; equazioni fondamentali, caratteristiche di ingresso e uscita. Effetto Early. Retta di carico. Determinazione dei parametri per fissare il punto di lavoro. Circuiti di polarizzazione. polarizzazione di emettitore. Autopolarizzazione con partitore di tensione. Modella a.c. a pi greco per piccoli segnali. Amplificazione di tensione. Impedenza di ingresso e uscita. Amplificatore a Emittitore Comune (CE) con e senza capacità di by pass. Configurazione a Collettore Comune (CC). Amplificatore differenziale. Amplificatori di potenza: potenza dissipata, potenza prodotta, efficienza. Amplificatori in classe: classe A, AB e C. Tecniche di fabbricazione di circuiti integrati. Amplificatore Operazionale (OPAMP): caratteristiche ideali, concetto di massa virtuale, impedenza di ingresso e uscita nei casi ideale e reale. Circuito reazionato. OPAMP in configurazione invertente e non invertente: amplificazione, impedenza di ingresso e uscita nei casi ideale e reale. Risposta in frequenza dell'OPAMP. Circuiti con OPAMP: sommatore, media, DAC. Filtri attivi: filtro passa basso e integratore. Filtro passa alto e derivatore. Amplificatore differenziale, CMRR. Amplificatore per strumentazione.

Esercitazioni: 1) caratteristica I-V del diodo. Circuito raddrizzatore, circuito livellatore, ripple. 2) Misura delle caratteristiche di ingresso e di uscita del transistor BJT. Misura del parametro hFE. 3) progettazione di un circuito di autopolarizzazione del transistor. 4) realizzazione di amplificatori in configurazione CE e CC. 5) OPAMP in configurazione non invertente e invertente. verifica delle proprietà. Voltage follower. 6) OPAMP: risposta in frequenza. 7) Filtri attivi passa alto e passa basso. Derivatore e integratore. 8) OPAMP differenziale. Eliminazione dell'offset e misura del CMRR. 9) Amplificatore per strumentazione.

- *In inglese*

*Transmission lines: Characteristic impedance, delay time, reflection coefficient. Basic principles on the semiconductor band structure. Law of mass action, electric transport in semiconductors, diffusion and drift currents. Semiconductor doping. P-n junctions Barrier potential. Direct and inverse polarization of the p-n junction. I-V characteristic of the diode. Diode applications: half-wave, double-wave rectifier, Graetz bridge, leveling circuit, ripple. Transistor: operation; fundamental equations, input and output characteristics. Early effect. Load line. Determination of parameters to set the working point. Polarization circuits. emitter bias. Autopolarization with voltage divider. A.c simplified model. Voltage amplification. Input and output impedance. Common Emitter Amplifier (CE) with and without by-pass capability. Common Collector Configuration (CC). Differential amplifier. Power amplifiers: dissipated power, produced power, efficiency. Class amplifiers: class A, AB and C. Integrated circuit manufacturing techniques. Operational Amplifier (OPAMP): ideal characteristics, concept of virtual mass, input and output impedance in ideal and real cases. Circuit back. OPAMP in inverting and non-inverting configuration: amplification, input and output impedance in ideal and real cases. Frequency response of the OPAMP. Circuits with OPAMP: adder, media, DAC. Active filters: low pass filter and integrator. High pass filter and shunt. Bandpass filters. Differential amplifier, CMRR. Instrumentation amplifier. Laboratory Experiences: 1) I-V characteristic of the diode. Rectifier circuit, leveling circuit, ripple. 2) Measurement of the input and output characteristics of the BJT transistor. Measurement of the hfe parameter. 3) design of a transistor self-polarization circuit. 4) realization of amplifiers in CE and CC configuration. 5) OPAMP in non-inverting and inverting configuration. verification of properties. Voltage follower. 6) OPAMP: frequency response. 7) Active rows high and low pass. Derivator and integrator. 8) OPAMP differential. Elimination of the offset and measurement of the CMRR. 9) Instrumentation amplifier.*

\* \* \* \* \*

## **LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE 1**

*Dott.<sup>ssa</sup> Beatrice Bonanni [5 cfu, I anno - I semestre]*

### Programma

- *In italiano*

DISCUSSIONE DEI METODI STATISTICI PER TRATTAMENTO DEI DATI ED ANALISI DEGLI ERRORI.

1. Errori di misura ed incertezze sperimentali.

a. Inevitabilità dell'incertezza in una misura sperimentale. Stima delle incertezze: nella lettura della scala di uno strumento di misura, nella ripetizione di una misura. Migliore stima di una grandezza. Cifre significative. Confronto tra misure. Incertezze relative. b. Propagazione delle incertezze sperimentali.

Misurazione diretta e valutazione indiretta di grandezze fisiche. Propagazione degli errori per misure affette da incertezze casuali ed indipendenti. Propagazione degli errori massimi.

2. Analisi statistica dei dati sperimentali.

a. Errori casuali ed errori sistematici. Media e deviazione standard. Deviazione standard per una singola misura. Deviazione standard della media. b. La distribuzione di Gauss. Istogrammi e distribuzioni. Distribuzioni limite. La distribuzione normale. Deviazione standard e limite di confidenza. Il valor medio come miglior stima della misura di una grandezza. Deviazione standard della media. c. Rigetto dei dati sperimentali. Criterio di Chauvenet. d. La media pesata. Il problema della combinazione di misure diverse per una stessa grandezza. e. Il metodo dei minimi quadrati. Analisi della dipendenza lineare di dati sperimentali in un grafico:  $y=A+Bx$ . Valutazione dei coefficienti A e B della retta, e della loro incertezza. f. Covarianza e correlazione. Nuove considerazioni sulla propagazione degli errori. Il coefficiente di correlazione lineare r di Pearson. g. La distribuzione binomiale. Definizione e proprietà. Esempi. h. La distribuzione di Poisson. Definizione e proprietà. Esempi. i. Il test del  $\chi^2$  per una distribuzione. Definizione generale del  $\chi^2$ . Gradi di libertà e  $\chi^2$  ridotto. La probabilità per il  $\chi^2$

INTRODUZIONE ALLA SPERIMENTAZIONE DELLA FISICA CLASSICA: MECCANICA, TERMODINAMICA.

Utilizzo della relativa strumentazione e metodologia di misura.

Una serie di esperimenti condotti in laboratorio addestreranno lo studente all'utilizzo della strumentazione e delle tecniche illustrate nelle lezioni, e alla elaborazione di una relazione di quanto ottenuto durante l'esperimento svolto.

- *In inglese*

*DISCUSSION OF STATISTICAL METHODS FOR DATA PROCESSING AND ERROR ANALYSIS.*

*1. Measurement errors and experimental uncertainties.*

*a. Inevitability of uncertainty in an experimental measurement. Estimation of uncertainties: in reading the scale of a measuring instrument, in repeating a measurement. Best estimate of a quantity. Significant figures. Comparison of measurements. Relative uncertainties. b. Propagation of experimental uncertainties. Direct measurement and indirect evaluation of physical quantities. b. Propagation of errors for data affected by random and independent uncertainties. Propagation of maximum errors.*

*2. Statistical analysis of experimental data.*

*a. Random errors and systematic errors. Average and standard deviation. Standard deviation for a single measurement. Standard deviation of the average. b. The Gauss distribution. Histograms and distributions. Limit distributions. The normal distribution. Standard deviation and confidence limit. The average value as the best estimate of a quantity. Standard deviation of the average. c. Rejection of experimental data. Criterion of Chauvenet. d. The weighted average. The problem of combining different measurements for the same quantity. e. The least squares method. Analysis of the linear dependence of experimental data in a graph:  $y = A + Bx$ . Evaluation of the coefficients A and B, and of their uncertainty. f. Covariance and correlation. New considerations on error propagation. The Pearson linear correlation coefficient r. g. The binomial distribution. Definition and properties. Examples. h. The Poisson distribution. Definition and properties. Examples. i. The  $\chi^2$  test for a distribution. General definition of  $\chi^2$ . Degrees of freedom and reduced  $\chi^2$ . The probability for the  $\chi^2$*

*INTRODUCTION TO THE EXPERIMENTATION OF CLASSICAL PHYSICS: MECHANICS,*

**THERMODYNAMICS.**

*Use of the instrumentation and measurement methodology.*

*A series of laboratory experiments will train the student in the use of the equipment and techniques described in the lessons, and in the elaboration of a report about the experiments.*

\* \* \* \* \*

**LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE 2**

*Dott. Giorgio Contini [5 cfu, II anno - I semestre]*

Programma

- In italiano

Corrente continua, considerazioni generali. Generatori ideali di tensione e corrente.

Cenni di teoria dei circuiti in corrente continua

Legge di Ohm

Principi di Kirchhoff

Teorema di sovrapposizione

Circuiti equivalenti

Teoremi di Thevenin e Norton

Trasferimento di potenza da un generatore ad un carico

Elementi reali di circuito elettrico

Generatori reali

Misure di intensità di corrente e di tensione elettrica. L'amperometro e il voltmetro.

Misure di resistenza con amperometro e voltmetro. Il ponte di Wheatstone.

Reti elettriche in regime sinusoidale, generalità.

Rappresentazione simbolica di una grandezza sinusoidale: derivata e integrale.

Relazione tra tensione e corrente in corrente alternata. Elementi passivi ideali.

Principi di Kirchhoff in AC.

Impedenza e impedenza equivalente in una rete passiva.

Risoluzioni di circuiti. Funzione di trasferimento (attenuazione) di una rete passiva.

Circuiti RC, CR, LR, RL. Filtri passa-alto e passa-basso.

Circuiti passabanda passivi RCCR

Circuiti derivatori e integratori in regime sinusoidale e con ingresso di tipo particolare.

Circuito oscillante RLC e parallelo con l'oscillatore armonico forzato.

Principi di Huygens e di Fermat

Legge di Snell, riflessione totale. Il prisma e il potere dispersivo.

La polarizzazione. Riflessione e rifrazione di luce polarizzata. L'angolo di Brewster.

Interferenza prodotta da due fenditure. Esperienza di Young.

Diffrazione da una fenditura e reticolo di diffrazione.

- In inglese

*Continuous current, general considerations. Ideal generators of voltage and current.*

*Elements of DC circuits theory*

*Ohm's law*

*Kirchhoff Principles.*

*Superposition theorem*

*Equivalent circuits*

*Thevenin and Norton theorems*

*Power transfer from a generator to a load*

*Real elements of electrical circuit*

*Real generators*

*Measurements of current intensity and electrical voltage. The amperometer and the voltmeter.*

*Resistance measurements with amperometer and voltmeter. The Wheatstone bridge.*

*Electric networks in sinusoidal regime, generalities.*

*Symbolic representation of a sinusoidal quantity: derivative and integral.*

*Relation between voltage and current in alternating current. Ideal passive elements.*

*Kirchhoff principles in AC.*

*Impedance and equivalent impedance in a passive network.*

*Circuit Resolutions. Transfer function (attenuation) of a passive network.*

*RC RC, CR, LR, RL circuits. High-pass and low-pass filters.*

*RCCR passive passband circuits*

*Derivative and integrator circuits in sinusoidal regime under the action of several inputs.*

*RLC oscillating circuit and the analogy with the forced harmonic oscillator.*

*Principles of Huygens and Fermat*

*Snell's law, total reflection. The prism and the dispersive power.*

*Polarization. Reflection and refraction of polarized light. Brewster's angle.*

*Interference produced by two slits. Young's experience.*

*Diffraction from a slit and diffraction grating.*

\* \* \* \* \*

## **LABORATORIO DI INFORMATICA - 6 CFU**

*Prof.<sup>ssa</sup> Roberta Sparvoli [II anno - II semestre]*

### Programma

- *In italiano*

Programmazione in C, l'aritmetica del C, operatori algebrici e relazionali, gli operatori di assegnamento, operatori di incremento e decremento. Strutture di selezione IF, IF-ELSE e nidificazioni, struttura di iterazione WHILE. Codice Ascii. Il comando di iterazione FOR, il comando di selezione multipla SWITCH, istruzione break e continue. Operatori logici. Programmazione con i vettori, gestione delle stringhe di caratteri. Generazione di numeri random. Programmazione con le funzioni, le funzioni della libreria matematica, scrivere le proprie funzioni, funzioni ricorsive. L'elaborazione dei files in C.

- *In inglese*

*Brief introduction to the historical background of C.C programming, C arithmetic, algebraic and relational operators, assignment operators, increment and decrement operators. Selection structures IF, IF-ELSE and nesting, WHILE iteration structure. Ascii Code. The FOR iteration command, the multiple selection command SWITCH, break statement and continue. Logical operators. Programming*

*with vectors, management of character strings. Generation of random numbers. Programming with functions, functions of the mathematical library, writing its own functions, recursive functions. Processing files in C.*

\* \* \* \* \*

## **METODI MATEMATICI - 6 CFU**

*Prof. Massimo Tomellini - Dott. Enrico Perfetto (codocenza) [II anno - I semestre]*

### Programma

- *In italiano*

Spazi Metrici; Spazi vettoriali a dimensione finita  $\mathbb{C}^n$ . Disuguaglianza di Schwarz. Dipendenza lineare: metodo di ortonormalizzazione di Gram-Schmidt. Operatori lineari. Autovalori e autovettori di matrici: diagonalizzazione. Funzioni di matrice. Matrici Hermitiane. Cambiamenti di base. Equazioni differenziali del I e di II ordine. Sistemi di equazioni differenziali lineari.

Spazi funzionali. Operatori lineari nello spazio  $L^2$ . Notazione di Dirac. Polinomi di Hermite. Polinomi di Legendre, Funzione generatrice e relazioni di ricorrenza. Oscillatore armonico quantistico. Relazioni di completezza e sviluppo in serie di funzioni. Disuguaglianza di Bessel; uguaglianza di Parseval. Sviluppo in serie di Fourier. Funzioni di variabile complessa. Funzioni analitiche: condizioni di Cauchy-Riemann. Integrale di Cauchy. Sviluppo in serie di Laurent. Teorema dei residui. Calcolo di integrali definiti mediante integrazione in campo complesso. Trasformata di Fourier. Trasformata di Laplace. Risoluzione di equazioni differenziali del II ordine utilizzando la trasformata di Laplace. Funzione di Green di particella libera. Operatori differenziali in coordinate curvilinee ortogonali; divergenza, gradiente, rotore, Laplaciano.

- *In inglese*

*Vector space (finite dimension). Gram-Schmidt method. Linear operators, matrix eigenvalue and eigenvectors. Matrix functions. Coordinate transformations: unitary matrixes. First and second order linear differential equations. Systems of differential equations.  $L^2$  function space, linear operators in  $L^2$ . Hermite and Legendre polynomials. Generating functions of Hermite and Legendre polynomials, recurrence relations. Rodrigues's formula. Complete set of functions, Bessel inequality. Parseval's equality. Fourier's series expansion. Functions of complex variables. Analytical functions, Cauchy-Riemann conditions. Laurent's series expansion. Contour integrals. Cauchy's integral and the residue theorem. Fourier and Laplace transform. Free particle Green's function. Special operators in curvilinear coordinates: the gradient, the curl and the Laplacian.*