

# Scienza dei Materiali

Quasi non ce ne accorgiamo, ma i materiali che maneggiamo, sfioriamo con il corpo o con lo sguardo, cambiano continuamente. Il pallone con cui si gioca un mondiale di calcio è sempre sferico, ma è fatto con materiali molto diversi da quelli che i ragazzi di quindici anni fa prendevano a calci. I vestiti che usiamo sono prodotti da un intreccio di cotone e nuove fibre nate in laboratorio alla fine del XX secolo. Sono fatti di nuovi materiali le maniglie che afferriamo sugli autobus, i cosmetici, le scarpe, le lenti a contatto, le carrozzerie e i telai delle automobili e delle moto, i mobili. Questi cambiamenti sono il risultato dell'approfondimento della conoscenza di come la materia, prima di trasformarsi in oggetti, si metta assieme e si aggrega, manifestando proprietà nuove, a volte inaspettate e comunque interessanti. Come la superconduttività (la possibilità di far viaggiare le correnti elettriche all'interno della materia senza incontrare resistenza), la "memoria di forma" (materiali che sanno ritrovare la forma originaria dopo averla cambiata) o il mondo di domani, quello delle nanotecnologie.

La Scienza dei materiali è davvero una straordinaria sfida scientifica che sta cambiando il mondo delle cose attorno a noi e lo cambierà ancora di più in futuro. È una di quelle scienze antiche che, ad un certo punto, raggiungono una tale quantità di conoscenze e di tecniche di indagine specifiche, che "esplodono". Accelerano, attirano finanziamenti, intelligenze, idee e cominciano a moltiplicare, di giorno in giorno, le scoperte e le invenzioni. Questo è successo negli ultimi anni nel campo dei nuovi materiali: nelle Università italiane le iscrizioni a Scienza dei Materiali sono aumentate, sono nate nuove imprese e nuovi laboratori di ricerca. Questa disciplina attrae e affascina soprattutto chi si fa appassionare dall'avventura dell'innovazione e dell'invenzione. Lo scienziato dei materiali è un ricercatore che nasce dalla conoscenza delle basi di chimica e fisica, ma poi cammina sui propri piedi, o meglio sulle proprie idee. Lavora soprattutto nei laboratori delle imprese o dei centri di ricerca, dove inventa nuove molecole o definisce nuovi protocolli di produzione che finiscono in migliaia di oggetti diversi. La Scienza dei Materiali infatti, trova applicazioni in tantissimi campi. Esistono ricerche che sviluppano materiali per l'elettronica, altre che perfezionano le vernici e le sostanze di ricopertura usate nel restauro dei monumenti, altre ancora che mettono sul mercato nuove plastiche con caratteristiche innovative. Ma ci sono anche ricerche che vanno a scoprire i comportamenti della materia in condizioni particolari, che esplorano il piccolissimo, l'estremo, le frontiere irraggiungibili fino a pochi anni fa. Una grande sfida scientifica. Queste ricerche sono anche alla base delle tecnologie future, perché creano i materiali con cui si potranno sviluppare computer molto più potenti o coperture in grado di rendere competitive le macchine per produrre energia dal

sole o dal vento. Non è difficile immaginare che un laureato in questa disciplina trovi facilmente lavoro in aziende, sia pubbliche che private, dove la sua professionalità e le sue conoscenze possono essere valorizzate, o in centri di ricerca (particolarmente numerosi soprattutto nell'area romana).

Lo scienziato dei materiali viene infatti richiesto in tutti i settori dove è necessario il perfezionamento dei materiali che già si stanno utilizzando. Oppure per svilupparne di nuovi più moderni. Altre volte, le competenze dello scienziato dei materiali vengono richieste dove serve un esperto per riconoscere e certificare le componenti di prodotti già esistenti. Oppure là dove bisogna operare per la conservazione, attraverso la realizzazione di nuovi materiali, dei beni culturali e ambientali. O, ancora, lo scienziato dei materiali può essere richiesto in aziende che si occupano di fare assistenza tecnica per settori commerciali che si muovono nelle alte tecnologie. Insomma, ovunque la produzione si basi sull'innovazione. Lo scienziato dei materiali può anche dedicarsi alla ricerca nell'università o negli enti di ricerca, come l'ENEA o il CNR o altro, proprio come i chimici e i fisici. Questo tipo di attività di ricerca richiede però di proseguire negli studi con le lauree specialistiche e il dottorato di ricerca.

Il corso di laurea in Scienza dei Materiali di Tor Vergata apre la porta a tutte queste carriere, partendo da una formazione "forte" sulle basi della fisica, della chimica e della matematica. Ma aiuta gli studenti anche a prendere familiarità con il metodo scientifico di indagine. Bisogna infatti arrivare a saper costruire dei modelli che dicano in anticipo come dovrebbe comportarsi questo o quel materiale in certe condizioni. Modelli teorici, che si basano sulle conoscenze esistenti. Poi si va in laboratorio e si vede se - e fino a che punto - ogni modello funziona, è "vero". Presso la nostra Università sono particolarmente sviluppate le ricerche sulle nanotecnologie e le nanoscienze: nanomateriali optoelettronici, macromolecole organiche e nanotubi di carbonio. Ovviamente questo richiede una competenza forte nelle pratiche di laboratorio: il corso di laurea prevede infatti di far passare allo studente una parte importante del proprio tempo di studio proprio nei laboratori sia dell'Università che, realizzando gli stage esterni. Anzi, la prova finale è costituita proprio dalla discussione del lavoro svolto nel corso di uno stage che normalmente si effettua presso ditte del settore manifatturiero (elettronico o chimico) o presso un centro di ricerca specializzato nella crescita e/o nella caratterizzazione di nuovi materiali. Il corso di laurea di Tor Vergata permette inoltre di acquisire delle conoscenze anche in settori come economia, organizzazione del lavoro e sicurezza sul lavoro. Uno scienziato dei materiali è infatti un professionista che può anche assumere responsabilità imprenditoriali proprio perché portatore di una cultura dell'innovazione che poche altre figure possono vantare.

Il Corso di Laurea in Scienza dei Materiali appartiene alla Classe delle Lauree in Scienze e Tecnologie Fisiche (classe L-30, ex DM 270/04), ha una durata normale di tre anni ed è articolato su un percorso formativo che prevede 20 esami.

Il laureato in Scienza dei Materiali può accedere ai corsi di studio di livello superiore, come la laurea magistrale, di carattere più formativo, o ad un Master di I livello.

### **Obiettivi formativi specifici e descrizione del percorso formativo.**

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;
- Svariati 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.

### **Profili professionali e sbocchi occupazionali.**

Il Corso di Laurea in Scienza dei Materiali, fornendo sia solide basi scientifiche di base sia conoscenze relative a processi e tecnologie innovativi, intende formare dei laureati in grado di inserirsi in realtà produttive o di ricerca nelle quali vengono affrontate problematiche inerenti il miglioramento delle prestazioni dei materiali esistenti (polimeri, ceramici, vetri, metalli, compositi, semiconduttori) e lo sviluppo di nuovi materiali.

### **Ulteriore formazione**

Il laureato può accedere ai corsi di studio di livello superiore, come la laurea magistrale, di carattere più formativo, o ad un Master di I livello.

Il corso di Laurea Magistrale particolarmente consigliato è la Laurea Magistrale in Scienza e Tecnologia dei Materiali, attivata presso la Macroarea di Scienze di Tor Vergata e presso altre Università italiane. Volendo proseguire ulteriormente negli studi, il possedere una Laurea Magistrale è condizione necessaria per accedere all'ultimo livello formativo universitario, quello del dottorato di ricerca o, per un'ulteriore professionalizzazione, ad un Master di II livello.

**Ruoli professionali**

Il laureato in Scienza dei Materiali trova impiego nel settore industriale o come ricercatore junior e/o responsabile del controllo di processo e qualità, o nell'assistenza tecnica di aziende di medie e grandi dimensioni.

Nel settore commerciale trova impiego in strutture di vendita in società piccole, medie e grandi che richiedano requisiti tecnici con competenze nell'area dei materiali e in altre aree affini.

**Come accedere al Corso di Laurea**

L'immatricolazione al corso di laurea in Scienza dei Materiali avviene tramite una selezione a numero programmato. Lo studente dopo aver preso visione del bando (visibile sul sito della Macroarea di Scienze - <http://www.scienze.uniroma2.it>) ed avere espletato le procedure di iscrizione dovrà sostenere nella data, indicata nel bando, un colloquio che gli dà accesso al Corso di Laurea.

**Ordinamento degli Studi - Laurea Triennale (classe L-30)**

I° Anno	I° semestre		
[B]	Mat/O5	Calcolo 1	6 cfu
[B]	Fis/O1	Fisica Sperimentale 1 Chimica Generale Inorganica con Lab.	10 cfu
[AI]	Chim/O3	(Mod.1)	10 cfu
[C]	Fis/O1	Laboratorio di Fisica Sperimentale (Mod. 1)	4 cfu
<b>II° semestre</b>			
[B]	Chim/O3	Chimica Generale Inorganica con Lab. (Mod.II)	5 cfu
[B]	Mat/O5	Calcolo 2	6 cfu
[AI]	Chim/O6	Chimica Organica con Lab.	9 cfu
[B]	Mat/O3	Geometria	6 cfu
[--]	L-lin/12	Inglese	4 cfu
II° Anno	I° semestre		
[B]	Fis/O1	Fisica Sperimentale II	10 cfu
[C]	Fis/O2	Metodi Matematici	6 cfu
[AI]	Chim/O2	Chimica Fisica con Laboratorio	9 cfu
[AI]	Inf/O1	Laboratorio di Informatica	6 cfu
[---]	---	Corso a scelta *	3 cfu
<b>II° semestre</b>			
[C]	Fis/O2	Elementi di Fisica Teorica	7 cfu
[AI]	Chim/O2	Chimica delle Macromolecole con Lab.	6 cfu
[B]	Fis/O1	Laboratorio di Fisica Sperimentale (Mod. II)	6 cfu
[---]	---	Corso a scelta *	6 cfu

III° Anno		I° semestre		
[C]	Fis/01	Laboratorio di Elettronica		6 cfu
[C]	Fis/03	Fondamenti di Fisica Atomica e Molecolare		7 cfu
[AI]	Chim/03	Chimica dei Solidi con Laboratorio		9 cfu
[AI]	Chim/01	Chimica Analitica con Laboratorio		6 cfu
[---]	- - -	Corso a scelta *		3 cfu
		II° semestre		
[C]	Fis/03	Fisica dei Materiali con Lab.		8 cfu
[C]	Fis/03	Fisica dei Solidi		6 cfu
[---]	- - -	Tirocinio		12 cfu
[---]	- - -	Prova Finale		4 cfu

*\*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.*

### Propedeuticità

Gli esami dei corsi aventi lo stesso titolo devono essere superati seguendo il numero d'ordine. 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

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

centodecesimi con eventuale lode. Eccezionalmente il “tirocinio” può svolgersi anche con modalità differenti da quelle qui indicate a seguito di una specifica delibera del Consiglio di Corso di Studio.

\* \* \* \* \*

### **Programmi dei corsi**

#### **CALCOLO 1 - 6 CFU**

*Dott. Ugo Locatelli* [I anno - I semestre]

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)

\* \* \* \* \*

#### **CALCOLO 2 - 6 CFU**

*Prof.<sup>ssa</sup> Silvia Caprino* (*Fruito dal corso di Laurea Triennale in Chimica Applicata*) [I anno - II semestre]

Funzioni di due variabili: Grafici, curve di livello, continuità e limiti. Insiemi di punti del piano: frontiera, insiemi aperti, chiusi, limitati e connessi: teoremi relativi. Derivate parziali, gradiente, differenziale, teorema delle funzioni implicite, massimi e minimi liberi e vincolati. Derivate seconde e successive. Integrali curvilinei, forme differenziali e loro integrazione. Serie di principi. Funzioni di tre o più variabili: Estensioni del caso bidimensionale; campi vettoriali.

\* \* \* \* \*

#### **CHIMICA ANALITICA CON LABORATORIO - 6 CFU**

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

Generalità (scopi della Chimica Analitica, processo analitico, campionamento). Materiali per tecniche separative in Chimica Analitica. Principi di metodi elettrochimici di analisi. Materiali per sensori chimici e biosensori. Principi di metodi spettrofotometrici di base. Metodi elettrochimici di analisi. Preparazione di elettrodi ionoselettivi a membrana liquida ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NH_4^+$  o  $NO_3^-$ ) e sua applicazione all'analisi di campioni reali. Misura polarigrafica di metalli (Pb, Cu, Zn) nell'analisi di leghe. Misura spettrofotometrica di Cr e Mn in miscela negli acciai.

\* \* \* \* \*

#### **CHIMICA DEI SOLIDI CON LABORATORIO - 9 CFU**

*Prof. Massimo Tomellini - Prof.<sup>ssa</sup> Maria Letizia Terranova* [III anno - I semestre]

Reticoli cristallini. 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. Cinetica di ossidazione dei metalli. Teoria di Wagner.

\* \* \* \* \*

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

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

Teoria cinetica dei gas. Termodinamica dei gas reali. Reversibilità e irreversibilità. Principi della Termodinamica. Termochimica. Entropia in sistemi chimici. Energia Libera di Helmholtz. Energia Libera di Gibbs. Potenziale chimico. Reazioni chimiche in fase gassosa. Condizione di equilibrio. Costante di equilibrio. Dipendenza della costante di equilibrio dalla temperatura. Soluzioni. Lacune di miscibilità. Solubilità. Proprietà colligative. Diagrammi di fase a più componenti. Eutettico.

\* \* \* \* \*

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

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

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.

\* \* \* \* \*

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

*Dott. Donato Monti* [I anno - II semestre]

Molecole biatomiche omonucleari degli elementi del I e II periodo. Molecole biatomiche eteronucleari (CO, NO, CN). Il legame negli acidi alogenidrici. Solidi elementari. Teoria degli orbitali molecolari applicata ai solidi. Metalli, semiconduttori, isolanti. L'energia del reticolo ionico. Proprietà generali di fasi condensate dovute a legami di tipo ionico, covalente, molecolare e metallico. 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 gruppi I VII e di gas nobili. In particolare, caratteristiche e comportamento dei seguenti elementi e composti: I) Li, Na, K, idruri, ossidi, perossidi, superossidi, idrossidi, sali più comuni: carbonato e idrogenocarbonato di sodio, cloruro di sodio e di potassio, nitrato di potassio. II) Be, Mg, Ca, idruro di berillio, ossido di calcio; III) B, Al, idruri e alogenuri di boro, ossidi e nitruri di boro e di alluminio. IV) C, Si, Sn, Pb, ossidi del carbonio, carburi metallici.

\* \* \* \* \*



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

*Prof. Gaio Paradossi* [II anno - II semestre]

Introduzione ai polimeri. Polimerizzazione a stadi. Polimerizzazione a catena. Aspetti cinetici e probabilistici. Metodologie di polimerizzazione. Distribuzione dei pesi molecolari. Polimeri vinilici. Tattilità. Distribuzione gaussiana delle conformazioni in catene statistiche. Catene semiflessibili. Lunghezza di persistenza. Segmento equivalente e lunghezza di Kuhn. Termodinamica delle soluzioni polimeriche. Teoria di Flory - Huggins. Condizioni Theta. Metodi di frazionamento in termini di peso molecolare: Precipitazione frazionata. Cromatografia GPC (aspetti termodinamici). Soluzioni polimeriche diluite. Proprietà colligative: Pressione osmotica. Coefficiente del virale. Viscosità: dipendenza da fattori termodinamici e strutturali. Parametri molecolari ricavabili: Peso molecolare medio ponderale, raggio di girazione, coefficiente del virale. Cenni ad altre tecniche di "scattering" elastiche (SAXS, SANS) e quasi elastiche (DLS, QENS).

Testi consigliati:

Young and Lovell "Introduction to Polymers" Capman and Hall;

Flory "Introduction to Polymer Chemistry" Cornell Press.

\* \* \* \* \*

**CHIMICA ORGANICA CON LABORATORIO - 9 CFU**

*Prof.ssa Valeria Conte (Fruito dal corso di Laurea Triennale in Chimica)* [I anno - II semestre]

Struttura e legame nelle molecole organiche. Nomenclatura sistematica delle principali classi di composti organici. Conformazioni di alcani e cicloesano. Stereoisomeria geometrica (notazioni cis, trans ed E,Z). Stereoisomeria ottica. Classificazione delle reazioni e dei reagenti. Concetti fondamentali dei meccanismi di reazione. Cenni sugli aspetti cinetici e termodinamici delle reazioni. Reazioni di alogenocarburi, alcoli, ammine, alcheni, alchini, alchadieni. Reazioni dei composti aromatici. Reazioni di acidi carbossilici e derivati. Proprietà fisiche dei solidi, dei liquidi e loro purificazione. Analisi mediante distribuzione tra fasi. Estrazione con solventi. Cromatografia. Gascromatografia. Cenni di cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC). Metodi spettroscopici. Spettroscopia nell'ultravioletto e nel visibile. Spettroscopia infrarossa. Spettroscopia di risonanza magnetica nucleare. Cenni sull'analisi elementare qualitativa. Alcuni saggi di riconoscimento dei gruppi funzionali.

\* \* \* \* \*

**ELEMENTI DI FISICA TEORICA - 7 CFU**

*Prof. Michele Cini - Dott. Gianluca Stefanucci* [II anno - II semestre]

Meccanica e Meccanica Statistica classiche. Relatività. Equazione di Schrödinger. Postulati della Meccanica Quantistica. Effetto tunnel. Oscillatore armonico. Momento angolare. Atomo idrogenoide. Spin. Bosoni e fermioni, "entanglement". Statistiche quantistiche. Teoria delle perturbazioni. Metodo variazionale.

Testo Consigliato

Michele Cini, Elementi di Fisica Teorica, Springer Verlag, 2005



\* \* \* \* \*

**FISICA DEI MATERIALI CON LABORATORIO - 8 CFU***Prof. Maurizio De Crescenzi – Prof. Roberto Francini* [III anno - II semestre]

Ciclo dei materiali. Le forze di coesione. Stato solido, condensazione della materia, cristalli. Vetri e varie altre aggregazioni dello stato condensato. Diffrazione di raggi X. Struttura molecolare dei polimeri organici. Deformazione di un cristallo perfetto, deformazione elastica della gomma. Difetti puntiformi, dislocazioni, bordi di grano. Leghe e diagrammi di fase. Soluzioni solide. Interfacce tra le fasi. Diagrammi di stato per composti miscelati. Leghe metalliche, leghe ceramiche, copolimeri. Proprietà meccaniche. Resistenza dei materiali. Sforzo e deformazioni, energia di deformazione ed effetto anelastico. Deformazione plastica dei materiali a bassa temperatura: trazione e taglio. Conducibilità termica, Conducibilità elettrica: semiconduttori, metalli e superconduttori.

\* \* \* \* \*

**FISICA DEI SOLIDI - 6 CFU***Prof.ssa Paola Castrucci* [III anno - II semestre]

Struttura dei solidi: Cella primitiva e convenzionale, cella di Wigner-Seitz con esempi. Diffrazione dei raggi x, condizioni di Bragg e von Laue. Modi degli elettroni liberi in una scatola, modello quantistico per elettroni liberi, densità degli stati. Il teorema di Bloch, caso unidimensionale. Potenziali periodici. La densità degli stati. Modello di Kronig-Penney. Metodi di calcolo delle bande di energia. Approssimazione di Hartree e Hartree-Fock. Classificazioni dei solidi (metalli, semiconduttori ed isolanti) Energia di coesione dei solidi. La superficie di Fermi nei metalli. Gli eccitoni negli isolanti e nei conduttori. Teoria classica delle vibrazioni, calcolo del calore specifico e legge di Dulong-Petit. Approssimazione di Born-Oppenheimer, principio di Frank-Condon. Catena lineare monoe bi-atomica. Vibrazioni nei cristalli in 3D. I fononi. Branca acustica ed ottica. Proprietà ottiche dei fononi. Relazione di dispersione (Kramers Kronig), assorbimento, densità congiunta degli stati, cenni su polaritone. Modelli di Drude e Lorentz, Proprietà ottiche nei semiconduttori ed isolanti. Regola d'oro di Fermi. Transizioni dirette ed indirette nei semiconduttori.

\* \* \* \* \*

**FISICA SPERIMENTALE 1 - 10 CFU***Prof. Ivan Davoli – Dott. Massimiliano Lucci* [I anno - I semestre]

Meccanica: fenomeni, osservazioni, misure. Algebra vettoriale. Cinematica del punto materiale. Dinamica del punto materiale e dei sistemi di punti. Lavoro ed energia. Urti elastici ed anelastici. Dinamica dei sistemi rigidi. Dinamica dei fluidi. Termodinamica: temperatura e sistemi termodinamici. Teoria cinetica dei gas. Primo principio della termodinamica. Secondo principio della termodinamica. Entropia.

\* \* \* \* \*

**FISICA SPERIMENTALE 2 - 10 CFU***Prof. Roberto Francini* [II anno - I semestre]

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. Il principio di Huygens. Ottica geometrica. Interferenza e diffrazione.

\* \* \* \* \*

**FONDAMENTI DI FISICA ATOMICA E MOLECOLARE - 7 CFU***Prof. Massimo Fanfoni - Prof.ssa Fulvia Patella* [III anno - I semestre]

Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Interazione radiazione-materia. Correzioni relativistiche nell'atomo di idrogeno. Atomo di idrogeno in campi (effetto Zeemann e Stark). Approssimazione del campo centrale. Atomo di elio. Atomi a molti elettroni. Approssimazione di Born-Oppenheimer. Molecole biatomiche,  $H_2^+$  (combinazioni simmetrica e antisimmetrica di orbitali atomici). Molecole biatomiche. Stati rotazionali. Stati vibrazionali. Stati elettronici (modello LCAO e di Hückel). Spettroscopie.

\* \* \* \* \*

**GEOMETRIA - 6 CFU***Prof. Mauro Nacinovich* [I anno - II semestre]

Geometria del piano e dello spazio, vettori geometrici rette e piani, equazioni parametriche e cartesiane, prodotto scalare e vettoriale, generalizzazione allo spazio  $R^n$ , sottospazi vettoriali ed affini di  $R^n$ . Sistemi di riferimento. Matrici e determinanti. Risoluzione dei sistemi lineari eliminazione di Gauss Rango di una matrice e numero dei parametri liberi dello spazio delle soluzioni di un sistema lineare. Coniche e quadriche in forma canonica Esempi di curve e superfici, equazioni parametriche e cartesiane.

Testi Consigliati

S.Abeasis: Elementi di Algebra Lineare e Geometria, Ed. Zanichelli

Appunti del corso

\* \* \* \* \*

**INGLESE - 4 CFU***Docente da definire*

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**

*Prof. Roberto Messi (Fruito dal corso di Laurea Triennale in Fisica) [III anno - I semestre]*

Cenni alla struttura dei semiconduttori. Transistor a giunzione: principali configurazioni e loro caratteristiche, transistor a basse frequenze, modello ibrido. Amplificatori, amplificatori operazionali e applicazioni. Rumore in elettronica; tecniche di riduzione del rumore; lock-in. Circuiti digitali; esempi di funzioni in logica parallela ed in logica seriale. Esercitazioni di laboratorio.

\* \* \* \* \*

#### **LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE - 10 CFU**

*Prof. Claudio Goletti [I anno - I semestre] [II anno - II semestre]*

Introduzione alla sperimentazione della fisica classica: Meccanica, Termodinamica, Elettromagnetismo e Ottica. Utilizzo della relativa strumentazione e metodologia di misura. Discussione dei metodi statistici per trattamento dei dati ed analisi degli errori già iniziata al primo anno.

Introduzione agli elementi fondamentali di elettronica ed illustrazione di strumenti e tecniche per la misura di grandezze elettriche e ottiche. Una serie di esperimenti condotti in laboratorio addestreranno lo studente all'utilizzo della strumentazione e delle tecniche illustrate nelle lezioni.

\* \* \* \* \*

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

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

Breve introduzione al calcolatore, cenni sul Codice Macchina e sulla precisione macchina. Il MATLAB come facile strumento per scrivere programmi. Grafici in Matlab. Generazione di numeri casuali, numeri binari, operazioni e rappresentazione in complemento a 2. I vettori e le matrici. Operazioni sui vettori e sulle matrici. Integrazione numerica. Diagrammi di flusso, programmazione strutturata. Cicli, strutture condizionate. Operatori logici. Lettura e scrittura da file. Files ASCII spreadsheet.

\* \* \* \* \*

#### **METODI MATEMATICI - 6 CFU**

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

Complementi di analisi. Integrali multipli, operatori differenziali. Soluzioni di equazioni differenziali ordinarie con applicazioni. Spazi vettoriali a dimensione finita. Vettori e Matrici. Formalismo di Dirac. Autovalori e autovettori di matrice: diagonalizzazione. Funzioni di matrici.

Spazi funzionali. Operatori lineari negli spazi funzionali e loro proprietà. Commutatori e loro significato fisico. Rappresentazione di un operatore in una base, cambiamenti di base, autonormalità e completezza, rappresentazione spettrale. Connessioni con la Meccanica Quantistica. Serie e Trasformate di Fourier e di Laplace. Convoluzione. Funzione di Dirac e sue proprietà. Funzioni di variabile complessa: relazioni di Cauchy. Teorema di Cauchy. Funzioni monodrome e polidrome. Sviluppo di Laurent. Teorema dei residui.