

# Corso di Laurea in 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 da materiali molto diversi da quelli che prendevano a calci i ragazzi di quindici anni fa. 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 per truccarci, le scarpe, le lenti a contatto, le carrozzerie 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, comportandosi in modi inaspettati e interessanti. Come la superconduttività (la possibilità di far viaggiare le correnti elettriche senza resistenza all'interno della materia), la "memoria di forma" (materiali che sanno ritrovare una forma originaria dopo averla cambiata) o il mondo di domani, quello delle nanotecnologia.

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. Nelle Università italiane le iscrizioni a Scienza dei materiali sono aumentate e sono nate nuove imprese e nuovi laboratori si ricerca. Questa disciplina attrae e affascina soprattutto chi si fa appassionare dall'avventura dell'innovazione e delle invenzioni. Sì, perché Scienza dei materiali è proprio la scienza che permette di inventare i materiali nuovi. 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 elettronici, altre che perfezionano le vernici usate nel restauro dei monumenti e altre ancora che mettono sul mercato nuove plastiche con caratteristiche innovative (come, per esempio, quella di assorbire il calore). Ma ci sono anche ricerche che vanno a scoprire i comportamenti della materia in condizioni particolari, che esplorano il piccolissimo, l'estremo, le frontiere inimmaginabili 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.

## Ordinamento degli Studi - Laurea Triennale

<b>1° Anno</b>	<b>I SEMESTRE</b>	
	Calcolo 1	6 CFU
	Geometria	6 CFU
	Fisica Sperimentale 1	10 CFU
	Chimica Generale ed Inorganica con Laboratorio	15 CFU
	<b>II SEMESTRE</b>	
	Calcolo 2	6 CFU
	Esperimentazioni di Fisica (Mod. 1 e 2)	8 CFU
	Chimica Organica con Laboratorio	9 CFU
	Inglese	4 CFU
<b>2° Anno</b>	<b>I SEMESTRE</b>	
	Laboratorio di Informatica	5 CFU
	Fisica Sperimentale 2	10 CFU
	Metodi Matematici	8 CFU
Corso libero	6 CFU	
<b>2° Anno</b>	<b>II SEMESTRE</b>	
	Elementi di Fisica Teorica	7 CFU
	Chimica Fisica con Laboratorio	10 CFU
	Chimica delle Macromolecole con Laboratorio	6 CFU
	Corso libero	3 CFU
<b>3° Anno</b>	<b>I SEMESTRE</b>	
	Fondamenti di Fisica Atomica e Molecolare	7 CFU
	Laboratorio di Elettronica	6 CFU
	Chimica dei Solidi con Laboratorio	9 CFU
	Chimica Analitica con Laboratorio	6 CFU
	Corso Libero	3 CFU
	<b>II SEMESTRE</b>	
	Fisica dei Solidi	6 CFU
	Fisica dei Materiali con Laboratorio	8 CFU
	Stage	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 Complementi di Calcolo se non si sono sostenuti gli esami di Geometria e di Calcolo e non si può 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 esterno" 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.

### **Stage e prova finale**

La prova finale è costituita dalla discussione pubblica del lavoro svolto durante lo "stage esterno". L'attività di stage si svolge normalmente presso ditte manifatturiere operanti nel settore elettronico, chimico, meccanico o presso imprese attive nella realizzazione o caratterizzazione di nuovi materiali. Inoltre lo stage può essere svolto presso enti di ricerca pubblici o privati interessati alle proprietà dei materiali. L'attività di stage deve essere seguita da un tutore interno all'Università e supervisionata da un tutore indicato dalla azienda o dall'ente di ricerca. Il tutore esterno sarà membro effettivo della commissione di Laurea. La commissione di docenti esprime il suo giudizio in base ad una valutazione complessiva che tenga in considerazione la carriera dello studente, la quantità del lavoro svolto e la qualità della presentazione. Il voto finale è espresso in trentesimi e quindi convertito in centodecesimi con eventuale lode. Eccezionalmente lo "stage" 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

Prof. C. D'Antoni

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**

7 CFU

Proff. S. Caprino, A. Vignoli

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 potenze. Funzioni di tre o più variabili: Estensioni del caso bidimensionale; campi vettoriali.

#### **CHIMICA ANALITICA CON LABORATORIO**

6 CFU

Dr.ssa F. Valentini

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 1 CON LABORATORIO

9 CFU

Prof. M. Tomellini, Prof.ssa M.L. Terranova

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 CON LABORATORIO

10 CFU

Dr.ssa E. Chiessi, Dr.ssa F. Cavalieri

Teoria cinetica dei gas. Termodinamica dei gas reali. Reversibilità e irreversibilità. Principles of Thermodynamics. 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 ED INORGANICA CON LABORATORIO (mod.1) 10 CFU

Dr.ssa S. Piccirillo, Dr. D. Monti

Sistema periodico degli elementi. Legame chimico (ionico, covalente, dativo). Forze attrattive intermolecolari e legame a idrogeno. Stato della materia. Equilibri tra fasi in sistemi a più componenti. Soluzioni e proprietà colligative. Legge di azione di massa. Acidi e basi: pH, idrolisi, soluzioni tampone, indicatori. Sistemi ossidoriduttivi: potenziali elettrodi, pile, equazione di Nernst, elettrolisi. Rapporti ponderali nelle reazioni chimiche. Numero di ossidazione. Bilanciamento delle reazioni chimiche. Equilibri chimici omogenei ed eterogenei. La costante di equilibrio termodinamico. Funzioni di stato. Dissociazione elettrolitica. Equilibri acido-base in soluzione acquosa. pH e pOH. Idrolisi. Soluzioni tampone. Elettrolisi. Legge di Faraday.

#### CHIMICA GENERALE ED INORGANICA CON LABORATORIO (mod.2) 10 CFU

Dr.ssa S. Piccirillo, Dr. D. Monti

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. G. Paradossi

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

Dr. P. Galloni

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 alogenoalcani, alcoli, ammine, alcheni, alchini, alcadieni. 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.

#### METODI MATEMATICI 8CFU

Dr. G. Stefanucci

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.

#### ELEMENTI DI FISICA TEORICA 7 CFU

Prof. M. Cini

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

#### LABORATORIO DI INFORMATICA 5 CFU

Dr. R. Sparvoli

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 preadsheet.

#### ESPERIMENTAZIONI DI FISICA SPERIMENTALE (mod.1) 4 CFU

Prof. C. Goletti, Dr. E. Placidi

Il corso si articola in una serie di lezioni e di esercitazioni di laboratorio (almeno 7) che danno allo studente le nozioni introduttive di teoria della misura e di analisi statistica dei dati. Caratteristiche generali degli strumenti di misura. Errori di misura e loro propagazione. Grafici con scale lineari e non lineari e la rappresentazione grafica di funzioni. Analisi statistica dei dati sperimentali: distribuzioni limite, distribuzioni degli errori di misura, metodo dei minimi quadrati per l'adattamento dei dati sperimentali, test di ipotesi. Le esercitazioni consistono in esperimenti di laboratorio ed esercitazioni al computer per l'analisi statistica e la rappresentazione grafica dei dati sperimentali.

#### ESPERIMENTAZIONI DI FISICA SPERIMENTALE (mod.2) 4 CFU

Prof. C. Goletti, Dr. E. Placidi

Introduzione alla sperimentazione fisica nel campo dell'elettromagnetismo, dell'ottica e all'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.

#### FISICA DEI MATERIALI CON LABORATORIO 8 CFU

Prof. M. De Crescenzi, Dr. F. De Matteis

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. M. Casalboni

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 (KramersKronig), 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. I. Davoli

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. Gas reali e gas perfetti. Primo principio della termodinamica. Secondo principio della termodinamica. Entropia.

#### TESTO CONSIGLIATO

Mazzoldi, Nigro, Voci: Elementi di Fisica, Elettromagnetismo e onde, II edizione in due volumetti, Edises 2005

#### FISICA SPERIMENTALE 2 10 CFU

Dr. V. Merlo

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.

#### TESTI CONSIGLIATI

Halliday, Resnick, Walker, Fondamenti di Fisica, ed. Ambrosiana  
Appunti e brani suggeriti durante il corso

#### FONDAMENTI DI FISICA ATOMICA E MOLECOLARE 7 CFU

Prof. M. Fanfoni

Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Interazione radiazione-materia. Correzioni relativistiche nell'atomo di idrogeno. Atomo di idrogeno in campi (effetto Zeeman 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.ssa M. W. Baldoni

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

Prof. F. Fantera

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 4 CFU

Prof. R. Messi

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.

#### CORSI LIBERI

##### CHIMICA PER I BENI CULTURALI 4 CFU

Dr. F. Talarico

Chimica e Fisica applicata ai materiali della pittura. Fattori di degrado dei materiali. Studio dei pigmenti inorganici e dei coloranti organici naturali e di sintesi. Chimica dei leganti impiegati nelle tecniche pittoriche murali e da cavalletto. Scienza dei materiali impiegati nella conservazione e nel restauro dei Beni Culturali.

##### ECONOMIA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE 3 CFU

Ing. E. Ceccotti

Le variabili economiche e organizzative che influenzano la gestione dei processi d'innovazione delle imprese industriali e dei servizi. I temi principali che determinano le trasformazioni organizzative nelle imprese e le modalità di gestione dei processi di cambiamento organizzativi sono: la conoscenza di base degli elementi necessari alla redazione e interpretazione del bilancio; la conoscenza di base per la progettazione e gestione della contabilità industriale ed analitica; la strumentazione di misura delle performance aziendali e delle singole unità organizzative; i sistemi di controllo manageriale.

##### PREVENZIONE E SICUREZZA SUL LAVORO 3 CFU

Dr. L. Ferrucci

Quadro normativo di riferimento. La legislazione nazionale ed europea. Concetto di Pericolo e Rischio. I luoghi di Lavoro. Principali metodi di analisi e di valutazione dei rischi. Rischi specifici: agenti tossici e nocivi, rischi fisici, agenti cancerogeni, rischi derivanti dall'utilizzo di macchine. Uso di Gas e liquidi criogenici. Procedure e attrezzature e dispositivi di protezione individuale. Smaltimento dei rifiuti. Valutazioni del rischio incendi e procedure di esodo. Elementi base di protezione ambientale.