



## **GUIDA DIDATTICA del CORSO di LAUREA MAGISTRALE in SCIENZA E TECNOLOGIA 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 corso fornisce allo studente approfondimenti disciplinari che estendono e rafforzano le conoscenze acquisite durante il primo ciclo di studi. In particolare, vengono approfondite le conoscenze delle proprietà più propriamente fisiche e chimiche dei materiali, delle loro applicazioni in campo biologico, e degli aspetti ingegneristici e tecnologici. Il corso di studi offre un percorso formativo che prevede una pluralità di attività didattiche: dagli insegnamenti frontali, alle attività seminariali, alle ricerche proprie su temi specifici e alla frequenza di laboratori strumentali, facendo ampio ricorso alle strutture di ateneo presso cui si svolge la ricerca scientifica su tematiche proprie della Scienza dei Materiali. La frequenza di laboratori, nei quali gli studenti vengono addestrati a progettare, pianificare ed attuare esperimenti e misure sotto la guida di docenti e all'interno di gruppi di ricerca, ed infine a redigere una tesi originale da sottoporre a pubblica discussione, assicura che al termine degli studi i laureati abbiano acquisito non solo solide conoscenze disciplinari e strumenti per un aggiornamento autonomo, ma anche competenze quali la capacità di gestire contemporaneamente studio e lavoro, la capacità di lavorare in gruppo e di comunicare le proprie conoscenze scientifiche e tecnologiche. I ruoli che potranno essere loro affidati nel mondo del lavoro saranno collocati negli ambiti della ricerca, dello sviluppo e dell'innovazione industriale dei materiali. Infine, dato il carattere interdisciplinare del corso di studi, gli studenti che frequentano con assiduità apprendono non solo a comunicare e ad interagire con una varietà di interlocutori specialisti ma acquisiscono i presupposti disciplinari e le competenze per insegnare le scienze a livello di scuola secondaria e la chimica e la fisica a livello di secondaria superiore, fatto salvo il percorso formativo per l'abilitazione all'insegnamento secondo la normativa vigente.

Ad ogni studente viene assegnato un docente tutor che lo segue e lo consiglia durante tutto il percorso formativo. La durata del corso di laurea magistrale in Scienza e Tecnologia dei Materiali è di due anni accademici, ed è proposto in due curricula: 1) Scienza e Tecnologia dei Materiali 2) Materiali per la fotonica.

### **Modalità di accesso**

Per essere ammessi al corso di laurea magistrale in Scienza e Tecnologia dei Materiali occorre essere in possesso della laurea o del diploma universitario di durata triennale, ovvero di altro titolo di studio conseguito all'estero, riconosciuto idoneo.

Sono previsti specifici criteri di accesso che prevedono, comunque, il possesso di requisiti curriculari e l'adeguatezza della personale preparazione dello studente.

I requisiti curriculari per l'accesso alla laurea magistrale in Scienza e Tecnologia dei Materiali sono il conseguimento di una laurea delle classi L-30 Scienze e tecnologie fisiche, L-27 Scienze e tecnologie chimiche, L-07 Ingegneria Civile e Ambientale, L-08 Ingegneria dell'Informazione, L-09 Ingegneria Industriale.

Le conoscenze richieste per l'accesso sono riconducibili a quelle acquisite in corsi di contenuto matematico, fisico e chimico svolti in lauree triennali di area scientifica. In particolare, è necessaria una adeguata conoscenza dei principi e del formalismo matematico della Meccanica Quantistica, oltre alle conoscenze maturate attraverso esperienze di laboratorio di Fisica e Chimica.

L'adeguatezza della preparazione dello studente sarà valutata da una apposita Commissione attraverso un colloquio. È prevista l'individuazione di percorsi all'interno della laurea magistrale dipendenti dai requisiti curriculari soddisfatti e/o dal risultato della verifica della personale preparazione. Tali percorsi conducono al conseguimento della laurea magistrale con 120 CFU, senza attività formative aggiuntive.

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

Richiesta dei requisiti curriculari: come indicato sull'avviso di ammissione al corso di laurea

Scadenza immatricolazioni: come indicato sull'avviso di ammissione al corso di laurea

Inizio delle lezioni: I semestre 28 settembre 2020

II semestre 01 marzo 2021

#### **Trasferimenti**

Il trasferimento da altri atenei può essere accolto in base alle possibilità logistiche e allo studente potranno essere riconosciuti i crediti conseguiti nella sua carriera. Gli studenti dovranno presentare domanda preliminare entro i termini indicati sul bando di ammissione.

#### **Obiettivi formativi**

Obiettivi di questo corso sono:

acquisire le conoscenze di Fisica e di Chimica, nonché le competenze sperimentali utili allo sviluppo di nuovi materiali partendo dalla conoscenza degli atomi e delle molecole che li compongono;

acquisire le conoscenze di base della Matematica e dell'Informatica necessarie ad elaborare modelli e a trattare i dati derivanti dallo studio dei materiali innovativi;

possedere la metodologia ingegneristica necessaria a prefigurare processi complessi che richiedano alte capacità organizzative;

essere capaci di progettare, gestire e coordinare esperimenti che coinvolgono discipline diverse;

infine acquisire una sufficiente cultura d'impresa e la capacità di comunicare per iscritto e verbalmente in lingua Inglese

### **Risultati di apprendimento attesi**

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

I laureati magistrali in Scienza dei Materiali sono in grado di: 1) applicare tecniche e contenuti di carattere avanzato alla formulazione e risoluzione di problemi complessi in varie classi di materiali; 2) affrontare problemi originali in vari contesti applicativi, comprendendone la natura e formulandone proposte di soluzione; 3) proporre e implementare gli strumenti scientifici adatti per caratterizzare le proprietà fisiche, chimiche e chimico-fisiche di diverse classi di materiali; 4) partecipare in modo propositivo allo sviluppo di nuovi materiali per applicazioni in campi diversi, ma sempre con elevato valore aggiunto; 5) progettare strategie di sintesi e preparazione di materiali a proprietà predeterminate, valutando rischi e costi.

Ai Laureati Magistrali è richiesto di applicare le loro conoscenze nella progettazione di materiali partendo dalle strutture atomiche e molecolari che li compongono. Inoltre la padronanza del metodo scientifico di indagine e delle strumentazioni di laboratorio deve permettere di ideare, pianificare, progettare e gestire nuovi protocolli anche se non convenzionali. Inoltre il livello scientifico e l'approccio ingegneristico nella conoscenza dei materiali devono essere in grado di aiutare a risolvere problemi di particolare complessità. Le capacità di applicare conoscenze in contesti vari, così come quella di affrontare varie problematiche relative ai materiali, viene conseguita alla fine dei corsi di laboratorio con frequenza obbligatoria e verificata attraverso esami che prevedono relazioni scritte e loro discussione. La capacità di partecipare allo sviluppo di nuovi materiali viene principalmente acquisita nel secondo anno, attraverso l'impegno in un lavoro originale di ricerca per la tesi di laurea.

#### Autonomia di giudizio (making judgements)

I laureati magistrali in Scienza dei Materiali sono in grado di:

identificare il contesto scientifico ed applicativo per progettare modifiche, applicazioni o innovazione di materiali esistenti, per controllarne la qualità e per programmare interventi in grado di migliorarne le proprietà;

utilizzare criticamente dati della letteratura scientifica per valutare quali caratteristiche e qualità siano le più adatte per innovare e migliorare varie classi di materiali;

avere in generale un atteggiamento critico orientato alla scelta dell'approccio più adatto per la soluzione di problemi specifici, scegliere e produrre proposte e quadri di riferimento atti a interpretare correttamente problematiche complesse e ricercarne soluzioni operative;

svolgere in piena autonomia funzioni di responsabilità in ambienti di ricerca e sviluppo, ovvero nell'ambito dell'insegnamento e della comunicazione scientifica di alta qualificazione.

I laureati magistrali acquisiscono autonomia di giudizio e un atteggiamento critico, orientato alla scelta dell'approccio più adatto per la soluzione di problemi specifici, frequentando durante il biennio insegnamenti caratterizzati da approcci teorici e metodologici multidisciplinari e complessi, la frequenza dei laboratori avanzati e lo svolgimento del lavoro di tesi. Tutte queste attività prevedono un esame finale pubblico, spesso sia scritto (relazione, risoluzione di problemi e test) sia orale.

*Abilità comunicative (communication skills)*

I laureati in Scienza dei Materiali sono in grado di:

comunicare problemi ed idee sul tema dei materiali, sia proprie sia di letteratura, a diversi tipi di pubblico, per iscritto ed oralmente;

dialogare con esperti di altri settori affini, in particolare ingegneri, fisici e chimici, riconoscendo la possibilità di interpretazioni e visioni complementari. Agli studenti viene richiesto di svolgere per iscritto e di presentare oralmente relazioni sintetiche su aspetti e proprietà di svariati materiali alla fine dei laboratori come prova d'esame di alcuni insegnamenti di ambito caratterizzante e/o affine.

I Laureati Magistrali devono avere sviluppato capacità che gli consentono di inserirsi in gruppi di lavoro con colleghi di altri paesi e con background scientifici diversi. Questo può essere fatto solo a condizione di avere una fluente conoscenza della lingua inglese, scritta e parlata. Inoltre devono essere in grado di sostenere le proprie argomentazioni scientifiche in dibattiti pubblici. La qualità dell'esposizione del lavoro di tesi è oggetto di valutazione in sede di laurea.

*Capacità di apprendimento (learning skills)*

I laureati magistrali in Scienza dei Materiali possiedono un atteggiamento propositivo e una mentalità predisposta al rapido apprendimento di nuovi concetti e metodi, sia teorici che sperimentali; hanno acquisito una mentalità flessibile e una robusta metodologia di lavoro, che permette loro di inserirsi prontamente in ambienti di lavoro e culturali di diversa natura; sono in grado di proseguire gli studi, in un Master o in un dottorato, sia nel campo della Scienza dei Materiali che nelle discipline affini, con un alto grado di autonomia.

Le capacità di apprendere nuovi concetti e metodi vengono conseguite a seguito di una attiva partecipazione, soprattutto nell'ultimo anno, all'ambiente di ricerca dei Dipartimenti, sia durante i laboratori a frequenza obbligatoria, sia alle lezioni di contenuto informativo oltre che formativo, specie ai seminari, sia durante il periodo di preparazione della tesi. Per tutta la durata del corso, particolare attenzione viene rivolta alla formazione individuale e quindi all'addestramento mirato all'autonomia, flessibilità e al lavoro di gruppo. Come per gli indicatori precedenti, la verifica dei risultati raggiunti avviene tramite esami e relazioni scritte e orali.

*Ambiti occupazionali previsti per i laureati*

Accesso al Dottorato di Ricerca. Contratti di Ricerca (in Università o Istituti di Ricerca, in Italia e all'estero). Accesso alla carriera direttiva della pubblica amministrazione. Impiego qualificato presso industrie manifatturiere (settori della microelettronica, TLC, nano materiali e software).

I laureati possono prevedere come occupazione l'insegnamento nella scuola, una volta completato il processo di abilitazione all'insegnamento e superati i concorsi previsti dalla normativa vigente.

**Struttura della didattica**

*Frequenza*

Gli insegnamenti hanno una durata semestrale.

*Percorsi formativi previsti*

All'interno della Laurea Magistrale in Scienza e Tecnologia dei Materiali lo studente potrà scegliere tra due curricula:

## 1. Scienza e Tecnologia dei Materiali

## 2. Materiali per la Fotonica

Il curriculum "Materiali per la Fotonica" è organizzato in collaborazione con il Master "Photonik" dell'Università Wildau di Berlino (<https://www.th-wildau.de/im-studium/fachbereiche/igw/igw-studiengaenge/pm-startseite.html>) e prevede la frequenza obbligatoria del secondo semestre del primo anno presso l'Università tedesca. Gli insegnamenti previsti saranno erogati in lingua inglese. Risultato di questa collaborazione è il conseguimento di una doppia pergamena: la Laurea Magistrale Italiana e il Master Engineering-Photonics dell'Università di Wildau. Per avere informazioni su come accedere al curriculum "Materiali per la fotonica", gli studenti interessati sono invitati a contattare il coordinatore (Prof. Claudio Goletti, [goletti@roma2.infn.it](mailto:goletti@roma2.infn.it)).

Le informazioni, la documentazione e le norme relative alla partecipazione al "Double Degree" sono reperibili al link: <http://www.scienze.uniroma2.it/?cat=729&catParent=191>

Subito dopo l'iscrizione gli studenti devono comunicare alla Segreteria della Macroarea di Scienze la loro scelta del curriculum. Questa scelta potrà essere modificata, con l'approvazione del Consiglio di Corso di Studio (CCS), prima dell'inizio del secondo semestre del primo anno.

È data facoltà agli studenti di proporre piani di studio diversi da quelli previsti, purché soddisfacenti ai vincoli di legge e coerenti con gli obiettivi del Corso di Laurea Magistrale. Tali piani di studio devono essere sottoposti alla approvazione del CCS.

Si consiglia agli studenti di consultare il Coordinatore del Corso di Studi prima della presentazione del Piano di Studi.

Attività a scelta e stage

Gli studenti potranno effettuare attività a scelta per un totale di 12 CFU. Nell'ambito di questa attività potranno anche effettuare un tirocinio formativo (stage). Lo svolgimento dello stage dà diritto ad un massimo di 6 CFU e può sostituire un esame a scelta libera. Lo stage si può svolgere:

1. presso laboratori di ricerca dell'Università di Roma "Tor Vergata"
2. presso un Laboratorio di ricerca esterno all'Università
3. presso una ditta operante nel campo di competenza della Scienza dei Materiali
4. presso una istituzione estera (Università, Ente di Ricerca o Impresa).

Lo stage deve essere concordato con il Coordinatore del Corso di Studi che ne accerterà la coerenza del percorso formativo con il piano di studi; nominerà, per i casi 2, 3 e 4 il docente interno responsabile della valutazione finale (nel caso 1 è il docente presso cui si svolge lo stage); informa lo studente di tutta la procedura necessaria a svolgere sotto assicurazione il periodo di stage.

Al completamento dello stage lo studente dovrà produrre e consegnare al docente responsabile una relazione scritta che verrà valutata con un voto espresso in trentesimi e verrà comunicato alla Commissione Didattica.

Tirocinio e Prova finale

La prova finale consiste nella elaborazione originale di un lavoro sperimentale o teorico - il cui svolgimento non si protrae di norma oltre i sei mesi dalla data di inizio del lavoro di tesi- che illustri nuovi risultati della ricerca e/o dello sviluppo tecnologico riguardanti la Scienza dei materiali. Tale attività viene svolta dal candidato presso un laboratorio o un gruppo di ricerca dell'ateneo o (previa autorizzazione da parte del Coordinatore) di un ente/azienda esterna all'Ateneo con cui sia in atto una

opportuna e valida convenzione con l'Ateneo. L'argomento della tesi è proposto da un relatore (di norma un docente membro del Corso di studio), nel settore prescelto dallo studente. Lo studente dovrà dare comunicazione dell'inizio del lavoro di tesi magistrale al coordinatore del Corso di studio, presentando agli uffici competenti la domanda di Laurea secondo le modalità stabilite dall'ateneo. Avuta notizia della domanda di Laurea, il Coordinatore del Corso di studio nominerà un secondo relatore (scelto tra i docenti del Corso di studio), che valuterà la tesi e sarà invitato alla seduta di laurea, partecipando alla Commissione che valuterà la prova finale. La prova finale prevede la presentazione e la discussione di una tesi scritta, in lingua italiana o in inglese (in questo secondo caso con titolo e riassunto anche in italiano). La tesi deve essere preparata in modo autonomo dal candidato e deve essere discussa pubblicamente davanti ad una Commissione di docenti del Corso di studio, la quale al termine della prova esprime la valutazione complessiva in centodecimi, con eventuale lode. La media dei voti riportati negli esami sarà pesata con i relativi CFU acquisiti e trasformata in centodecimi.

### OFFERTA FORMATIVA

#### Curriculum "SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI"

#### 1° ANNO

##### I° semestre

[C]	Fis/03	Teoria dei Solidi e Modelli Molecolari	8 cfu
[AI]	Ing-Inf/01	Elettronica Organica e Biologica	8 cfu
[AI]	Mat/06	Probabilità e Statistica	6 cfu
[C]	Ing-Ind/22	Compositi e Ceramiche	6 cfu

##### II° semestre

[C]	Chim/02	Biomateriali	6 cfu
[C]	Chim/03	Chimica dei Solidi II	8 cfu
[C]	Ing-Ind/21	Metallurgia	6 cfu
[AI]	Bio/10	Macromolecole e Processi Biochimici	6 cfu
[--]	----	Corso a scelta	6 cfu

#### 2° ANNO

##### I° semestre

[C]	Fis/03	Microscopia e Nanoscopia	6 cfu
[C]	Fis/03	Materiali Superconduttori	6 cfu
[C]	Chim/03	Materiali Nanostrutturati per l'Elettronica	6 cfu
[--]	----	Corso a scelta	6 cfu

##### II° semestre

[--]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	4 cfu
[--]	-----	Tesi ed Esame Finale	32 cfu

**Curriculum "MATERIALI PER LA FOTONICA"****1° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/03	Teoria dei Solidi e Modelli Molecolari	8 cfu
[AI]	Ing-Inf/01	Elettronica Organica e Biologica	8 cfu
[AI]	Mat/06	Probabilità e Statistica	6 cfu
[C]	Ing-Ind/22	Compositi e Ceramiche	6 cfu

**II° semestre**

[C]	Fis/03	Introduzione all'Ottica Quantistica	6 cfu
[C]	Chim/03	Chimica dei Solidi II	8 cfu
[C]	Ing-Inf/01	Laboratorio di Sistemi Energetici	6 cfu
[AI]	Ing-Ind/22	Materiali per la Produzione Industriale	6 cfu
[--]	----	Corso a scelta	6 cfu

**2° ANNO****I° semestre**

[C]	Fis/03	Microscopia e Nanoscopia	6 cfu
[C]	Fis/03	Materiali Superconduttori	6 cfu
[C]	Chim/03	Materiali Nanostrutturati per l'Elettronica	6 cfu
[--]	----	Corso a scelta	6 cfu

**II° semestre**

[--]	L-Lin/12	Lingua Inglese (corso avanzato)	4 cfu
[--]	-----	Tesi ed Esame Finale	32 cfu

**Legenda**

*CFU* Credito formativo universitario

*SSD* Settore Scientifico Disciplinare

*CCS* Consiglio di Corso di Studio

[C] Attività caratterizzanti

[AI] Attività affini e integrative

[ASL] Attività a scelta libera

\* \* \* \* \*

## Programmi degli insegnamenti

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

### **Biomateriali - 6 CFU**

*Prof. Gaio Paradossi, dr.ssa Letizia Oddo (codocenza) [I anno, II semestre]*

#### Programma

- *In italiano*

Biomateriali soffici: definizioni, polimeri funzionalizzati, colloidali. Biointerfaccia, microstrutture e mesostrutture. Caratterizzazione di equilibrio e dinamica dello stato colloidale con particolare riferimento alla fase gel: metodi reologici, spettroscopici, calorimetrici e di scattering. Teorie della gelazione. Test di biocompatibilità. Materiali multifunzionali per applicazioni biomediche con particolare riferimento all' imaging molecolare, il rilascio controllato di farmaci, la crescita tissutale. Applicazioni di letteratura. Sessioni di laboratorio su protocolli operativi riguardanti manipolazioni con biomateriali.

- *In inglese*

*Soft Biomaterials: definitions, functionalized polymers, colloids. Biointerface, microstructures and mesostructures. Characterization of equilibrium and dynamics of the gel phase: rheology, spectroscopy, calorimetry and scattering methods. Theory of gelation. Biocompatibility tests. Multifunctional materials for biomedical applications with particular reference to molecular imaging, controlled drug delivery, tissue engineering. Selected applications from the literature. Selected applications from the literature. Laboratory sessions on common operations concerning biomaterials.*

\* \* \* \* \*

### **Chimica dei Solidi II - 8 CFU**

*Prof.ssa Silvia Orlanducci, Prof. Massimo Tomellini (codocenza) [I anno, II semestre]*

#### Programma

- *In italiano*

A) Parte teorica

Richiami di termodinamica chimica. Termodinamica delle interfacce: proprietà di eccesso; energia libera di eccesso; proprietà di eccesso relative; isoterma di adsorbimento. Tensione superficiale. Equazione di Young Laplace. Teorema di Wulff per cristalli 3D (caso omogeneo). Plot di Herring. Angolo di contatto. Metodo di Born-Stern per la determinazione dell'energia di superficie.

Energia libera in sistemi non omogenei: diagrammi di fase G-X. Il modello di Bragg e Williams. Teoria di Chan Hilliard: determinazione dell'energia libera d'eccesso e del profilo di composizione all' interfase. Decomposizione spinodale: determinazione della lunghezza d'onda critica; cinetica della transizione spinodale.

Processi di nucleazione e crescita; nucleazione "classica"; termodinamica della nucleazione.



Cinetica di nucleazione: soluzione di "quasi-equilibrio" e di stato stazionario. Nucleazione eterogenea. Crescita di film sottili. Teoria della nucleazione "non classica": equazioni di velocità. Teoria di KJMA (Kolmogorov Johnson, Mehl, Avrami) per le transizioni di fase.

Strutture cristalline. Reticoli di Bravais, piani e direzioni reticolari. Indici di Miller. Metalli. Solidi ionici. Difetti puntuali. Solidi non-stechiometrici. Difetti estesi (dislocazioni, difetti di superficie, bordi grano, difetti di volume)

Proprietà meccaniche dei materiali. Comportamento elastico. Curva sforzo-deformazione. Fatica. Scorrimento viscoso. Frattura fragile e duttile. Teoria di Griffith. Statistica di Weibull. Comportamento visco-elastico dei polimeri. Materiali compositi.

Superfici dei solidi. Fisisorbimento e Chemisorbimento. Isotherme di adsorbimento (Langmuir, BET). Cinetica di adsorbimento.

Processi di sinterizzazione di polveri. Equazione di Laplace. Evoluzione della microstruttura. Sinterizzazione allo stato solido. Sinterizzazione attivata. Sinterizzazione con formazione di fase liquida. Processi pressure-assisted.

Processi di deposizione di film da fase gassosa. Processi PVD: evaporazione, sputtering, magnetron sputtering, processi ad arco ed arco filtrato. Processi CVD: CVD termico, CVD assistito da plasma (PACVD), Hot Filament CVD.

Celle a combustibile ad ossidi solidi (SOFC): scelta dei materiali e processing. Uso di film di elettroliti ceramici elettrodo-supportati.

- *In inglese*

#### A) *Theoretical section*

*Fundamental concepts in chemical thermodynamics. Thermodynamic potentials of multi-components systems. Thermodynamics of interfaces: Gibbs model of interfaces; excess free energy of an interface; relative excess quantities; adsorption isotherm. Surface tension. Young Laplace equation. Equilibrium shape of a crystal: the Wulff theorem. Herring's plot. Contact angle. Born-Stern approach for determining the surface energy.*

*G-X diagrams. The model of Bragg and Williams. Chan-Hilliard theory for the free energy of non-homogeneous systems (two components). The spinodal decomposition: critical wave length; kinetics of the spinodal decomposition.*

*Nucleation kinetics: classical theory of nucleation; thermodynamic and kinetic aspects; homogeneous and heterogeneous nucleation. Thin film growth. Atomistic nucleation: rate equations approach. KJMA (Kolmogorov Johnson, Mehl, Avrami) theory of phase transformation kinetics.*

*Crystal structures. Bravais lattice. Lattice planes and directions. Miller indices. Descriptive crystal chemistry: metals and alloys. Ionic structures. Point defects. Non-stoichiometry. Extended defects (dislocations, boundaries, stacking faults, 3-D defects).*

*Mechanical properties of materials. Elastic deformation. Stress-strain curves. Fatigue. Creep. Brittle and ductile fracture. Griffith theory. Weibull's statistical theory of brittle fracture. Visco-elastic behaviour of polymers. Composite materials.*

*Solid surfaces fundamentals. Physisorption and Chemisorption. Adsorption isotherms (Langmuir, BET). Adsorption kinetics. Sintering of powders. Laplace's equation. Microstructure evolution. Solid-state sintering fundamentals. Activated Sintering. Liquid-phase sintering. Pressure-assisted sintering. Vapour Deposition processes of thin films. Physical Vapour Deposition (PVD): evaporation, sputtering, magnetron sputtering, Arc-PVD, filtered arc PVD. Chemical Vapour Deposition (CVD): thermal CVD,*

*plasma-assisted CVD (PACVD), Hot Filament CVD. Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs) and Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFCs): materials and processing. Use of electrode-supported electrolyte films in SOFCs. novel ionomers for PEMFCs.*

\* \* \* \* \*

**Compositi e Ceramiche - 6 CFU**

*Prof.<sup>ssa</sup> Francesca Nanni (Fruito dal corso di Laurea in Ingegneria Meccanica) [I anno, I semestre]*

Programma

- *In italiano*

- 1)Materiali ceramici: Strutture dei ceramici, proprietà meccaniche e funzionali dei ceramici, il processo ceramico: sintesi delle polveri, formatura e sinterizzazione.
- 2)Materiali compositi:materiali compositi a matrice polimerica, principali tipi di matrice e di rinforzo, compositi particellari, unidirezionali e a fibra corta. Micromeccanica dei compositi: modelli matematici per moduli, carico di rottura, tenacità per compositi unidirezionali e particellari. Cenni alla macromeccanica dei compositi. Cenni ai nano compositi.
- 3)Ingegneria delle superfici: processi thermal spray: principali tecniche, plasma spray, flame spray, arc srpray, principali proprietà dei rivestimenti. Processi PVD e CVD.
- 4)Cenni alla material selection nella progettazione meccanica

- *In inglese*

- 1) *Ceramic materials: structure of ceramics: mechanical and functional properties of ceramics the ceramic process: powder synthesis, forming and sintering.*
- 2) *Composite materials: polymeric matrix composite materials (PMC): main types of matrix and reinforcements, unidirectional, short fibres and particle composites, micromechanical model of unidirectional and particle composites, notes on fracture mechanics, toughness, impact and fatigue resistance of composites, notes on nanocomposites notes on metal matrix composites (MMC): main types of matrix and reinforcements, main MMC properties; notes on ceramic matrix composites (CMC): main types of matrix and reinforcements, main CMC properties;*
- 3) *Surface Engineering: thermal-spray- processes: main techniques: plasma spray, flame spray, arc spray, thermal sprayed coating form and main properties. PVD and CVD processes*
- 4) *Notes on material selection in mechanical design (Ashby methodology).*

\* \* \* \* \*

**Elettronica Organica Biologica - 8 CFU**

*Prof. Thomas Brown (Fruito dal corso di Laurea in Ingegneria Elettronica) [I anno, I semestre]*

Programma

- *In italiano*

La tecnologia dell'optoelettronica organica o ibrida si basa su nuovi materiali semiconduttori basati su composti del carbonio come molecole organiche o polimeri o su materiali ibridi organici/inorganici (es. perovskiti). Questi materiali possono essere sintetizzati in modo da controllarne diverse proprietà semiconduttive utili per applicazioni come la luminescenza (LED), il trasporto e la mobilità di carica

(transistor), l'assorbimento di luce (photodiodes e celle fotovoltaiche), e la modulazione di tali proprietà dovute a sollecitazioni esterne (es. sensori di gas e pressione). Inoltre questi materiali non solo hanno una flessibilità meccanica intrinseca ma hanno anche la possibilità di essere depositati su larga area mediante semplici tecniche di evaporazione (es. per piccole molecole) o di stampa (es. per i polimeri solubili in solventi organici) come l'ink jet printing o la serigrafia sia su substrati rigidi che flessibili. È per questo che tale tecnologia è anche conosciuta come "plastic" o "printed" electronics.

Dopo una introduzione alla chimica organica e alla descrizione quantistica delle molecole, dei composti organici e delle transizioni ottiche (circa il 16% dei CFU del corso), il corso esplicherà il funzionamento e le architetture dei dispositivi optoelettronici a semiconduttori organici o ibridi, in particolare gli Organic (o Polymer) Light Emitting Diodes (OLED, PLED) (circa il 25% dei CFU del corso insieme ai display), Organic Thin Film Transistors (OTFT) (circa il 9% dei CFU del corso insieme al E-Paper), Organic Solar Cells (OSC), e Perovskite Solar Cells (PSCs) (circa il 12.5% dei CFU del corso). Successivamente si studierà il funzionamento, la progettazione e le tecniche realizzative di applicazioni in via di sviluppo basate su questi dispositivi come i Flat Panel Displays OLED (oggi già in commercio come schermi di smart phones e anche televisioni), la carta elettronica (E-Paper- con il case study della Plastic Logic Ltd), e i moduli fotovoltaici.

Una parte del corso verterà sui dispositivi e sui sistemi optoelettronici per il gene detection o rilevazione genetica (circa il 12.5% dei CFU del corso). Dopo una breve introduzione sui concetti basilari della biologia molecolare e della biotecnologia, il corso mostrerà come vengono progettati, costruiti e utilizzati i gene chip arrays mediante o tecniche fotolitografiche (usando come case study Affymetrix) o tecniche come l'ink jet printing. Un caso di studio sulla fibrosi cistica illustrerà un esempio dell'utilizzo e dell'importanza di questi chip.

Una parte del corso sarà dedicata agli esperimenti di laboratorio in cui lo studente assisterà a dimostrazioni pratiche e imparerà metodi per la realizzazione di celle solari di nuova generazione e la loro caratterizzazione con simulatori solari per estrarre i parametri fondamentali (es. l'efficienza di conversione) o sotto luce monocromatica per studiare l'efficienza quantica esterna (EQE). Quindi una importante parte del corso (25% dei CFU del corso) sarà dedicata alla ricerca e approfondimento di tematiche scelte di volta in volta (inclusendo lezioni su ricerche bibliografiche, come dare presentazioni etc), per poi completare una tesina sotto forma di presentazione da parte dello studente su un argomento a scelta.

- *In inglese*

*Organic and hybrid optoelectronic technology is based on new semiconductor materials based on carbon compounds such as organic small molecules or polymers or on organic/inorganic hybrids (e.g. perovskites). These materials can be chemically synthesized to tailor a variety of their semiconducting properties making them appealing for applications that require luminescence (LEDs), transport and charge mobility (transistors), the absorption of light (photovoltaic cells), and the modulation of such properties due to external stimuli (eg, photodetectors, gas and pressure sensors). In addition, these materials are mechanically flexible and have also the intrinsic ability to be deposited over large areas on both rigid and flexible substrates by simple evaporation (e.g. for small molecules) or by printing techniques (e.g. for polymers soluble in organic solvents) including ink jet or screen printing. This is why this field is also referred to as plastic or printed electronics.*

*After an introduction on organic chemistry and on the quantum description of molecules and organic compounds and their optical transitions (absorption, fluorescence and phosphorescence) (16% of the*

CFUs of the course), the course will expound the operation of organic and hybrid semiconductor optoelectronic devices, in particular Organic (or Polymer) Light Emitting Diodes (OLEDs, PLEDs) (25% of the CFUs of the course together with displays), Organic Thin Film Transistors (OTFTs) (9% of the CFUs of the course together with E-paper), Organic Solar Cells (OSCs), and Perovskite Solar Cells (PSCs) (12.5% of the CFUs of the course). We will then study the design and the manufacturing techniques utilized in developing the applications based on these devices and how these applications operate. The course will illustrate Flat Panel OLED Displays (having substantial market today as screens of mobile phones and televisions), electronic paper (E-Paper - through the Plastic Logic Ltd case study), and photovoltaic modules.

Part of the course will focus on the optoelectronic devices and systems for gene expression detection and sequencing (12.5% of the CFUs of the course). After a brief introduction on the basic concepts of molecular biology, the course then will show how gene chip arrays are designed, constructed and utilized using photolithographic (through the Affymetrix case study) or ink jet printing techniques. A case study on cystic fibrosis will illustrate an example of the utilization and importance of these chips. Part of the course will be devoted to experiments in the laboratory where the student will attend practical demonstrations and learn methods for the fabrication of new generation solar cells and their characterization under a solar simulator to extract the fundamental parameters (eg, conversion efficiency) or under monochromatic light to study the external quantum efficiency (EQE). Therefore an important part of the course (25% of the CFUs of the course) will be dedicated to the research and in-depth study of a new topics chosen each time (including lessons on bibliographic research, how to give presentations etc), to then complete a presentation by the students on a subject matter of their choice.

\* \* \* \* \*

### **Laboratorio di Sistemi Energetici - 6 CFU**

Prof. Andrea Reale, Prof.ssa Francesca Brunetti (codocenza) [I anno, II semestre]

#### Programma

- *In italiano*

Dispositivi e Sistemi per l'Energia e l'Efficienza Energetica

Dispositivi e Sistemi per l'Energia: Richiami interazione luce-semiconduttore: processi di assorbimento Fotovoltaico

- *Introduzione ai sistemi fotovoltaici*
- *Realizzazione di dispositivi di nuova generazione*
- *Tecniche di misura*
- *Stabilità e Certificazione*
- *Strategie di frontiera*

Termoelettrici

- *Introduzione*
- *Parametri caratteristici*
- *Caratterizzazione in laboratorio*

Efficienza Energetica

Introduzione all'efficienza energetica

Efficienza energetica per illuminazione

Richiami interazione luce-semiconduttore: processi di ricombinazione

LED: Sorgenti ottiche ad alta efficienza energetica

- *Materiali e soluzioni tecnologiche, efficienza quantica, caratteristiche spettrali*
- *Caratterizzazione di LED come sorgenti ottiche: la misura di spettro di emissione con uscita analizzatore di spettro ottico e le caratteristiche P-I*
- *Misure di colorimetria*

Progettazione di sistema integrato di illuminazione (sorgenti, generatori accumulo)

Efficienza energetica nei processi tecnologici

- *Introduzione*
- *Principi di funzionamento dei vari laser applicati all'industria*
- *Laser processing per materiali e dispositivi*

Efficienza energetica per le comunicazioni

- *Introduzione*
- *Dispositivi ad alta efficienza per le comunicazioni ottiche*
- *Esempi di sistemi di comunicazione ad alta efficienza (optical routing, Free Space Optics, etc)*
- *In inglese*

*Devices and Systems for Energy and Energy Efficiency*

*Devices and Systems for Energy:*

*light-semiconductor interaction: absorption processes*

*Photovoltaics*

*Introduction to PV systems*

*Fabrication of new generation devices*

*Measurement techniques*

*Stability and Certification*

*Innovative Strategies*

*Thermoelectric*

*Introduction*

*Characteristic parameters*

*Characterization in laboratory*

*Energy Efficiency*

*Introduction to energy efficiency*

*Energy efficient lighting*

*light-semiconductor interaction: recombination processes*

*LED: Optical Sources energy efficient*

- *Materials and technology solutions, quantum efficiency, spectral characteristics*
- *Characterization of LED as optical sources: the measurement of the emission spectrum with the output optical spectrum analyzer and the characteristics P-I*
- *Measures colorimetry*

*Design of integrated lighting (sources, generators accumulation)*

*Energy efficiency in technological processes: laser processing*

*Introduction*

*Working principle of the laser used in industrial processes*

*Materials and devices laser processing*

*Energy efficiency for communications: optical networks*

*Introduction*

*-Efficient devices for optical communications*

*Examples of communication systems with high efficiency (optical routing, Free Space Optics, etc)*

\* \* \* \* \*

**Lingua Inglese (corso avanzato) - 4 CFU**

*Docente afferente al CLA (Fruito dal corso di Laurea in Matematica Pura ed Applicata) [II anno, II semestre]*

*Programma*

- *In inglese*

Da definire

\* \* \* \* \*

**Macromolecole e Processi Biochimici - 6 CFU**

*Prof.<sup>ssa</sup> Sonia Melino [I anno, II semestre]*

*Programma*

- *In italiano*

Aspetti generali della cellula, Lipidi e Membrana cellulare, Acidi Nucleici e Codice Genetico

Replicazione e Trascrizione del DNA, Sintesi e Degradazione Proteica Eucariotica

Aminoacidi e legame peptidico, Struttura e Funzione delle Proteine (Proteine Globulari e Fibrose), Proteine allosteriche (Emoglobina), Enzimi e cenni di Cinetica enzimatica,

Regolazione enzimatica, Coenzimi e Vitamine, Processi Metabolici per la produzione di energia (glicolisi, ciclo dei TCA, fosforilazione ossidativa), Sistemi sensoriali (trasduzione del segnale visivo), Contrazione Muscolare e cenni su Muscoli Artificiali (EAP), Matrice extracellulare e cenni di Ingegneria Tissutale, Microchip con macromolecole biologiche (Microarray DNA e Proteine).

Esercitazioni pratiche in laboratorio: espressione e caratterizzazione di proteine ricombinanti; preparazione di biomateriali per la rigenerazione tissutale; utilizzo di banche dati ed algoritmi predittivi per lo studio della struttura e funzione delle macromolecole biologiche e visita di una start-up universitaria come modello di ricerca traslazionale.

- *In inglese*

*The following topics will be addressed: the organization of the cell, lipids and biological membranes, nucleic acids and genetic code, DNA replication and transcription, control of gene expression, proteinsynthesis in eukarioticsystem, amino acids and their properties, the shape and structure of proteins, protein function, enzymes and their regulation, allosteric proteins, hemoglobin and oxygen transport, vitamins and coenzymes, bioenergetic processes in the cell, signal transduction and visual system, molecular motors, extracellular matrix and tissue engineering, biomacromolecular*

*microchips (Microarray of DNA and proteins). Experiences in laboratory on the main techniques for the study and the characterization of the bio-macromolecules, on the preparation of scaffold for tissue regeneration, principles of bioinformatics on biological macromolecules and visit at a start-up of the University as model of translational research.*

Testi consigliati:

*Biochimica R.H. Garret e C.M. Grisham Zanichelli; Biochimica L. Stryer Zanichelli o testi analoghi di Biochimica.*

\* \* \* \* \*

### **Materiali Nanostrutturati per l'Elettronica - 6 CFU**

*Prof.<sup>ssa</sup> Maria Letizia Terranova (Docens Turris Virgatae) [II anno, I semestre]*

Programma

- *In italiano*

Introduzione alle Nanoscienze ed alle Nanotecnologie: stato dell'arte e prospettive

Nanomateriali e nanostrutture (0-D, 1-D e 2-D) .

- quantum dots
- nanoparticelle e nanopolveri
- nanocapsule
- materiali nanoporosi
- nanofili e nanofibre
- dendrimeri
- film sottili

Tecniche di preparazione: sintesi chimiche, processi fisici, trattamenti post-sintesi.

Gli approcci: bottom-up e top-down.

Tecniche top-down: litografie che utilizzano radiazioni elettromagnetiche, fasci di elettroni, fasci di ioni. Altre tecniche: nanoimprinting, nanolitografia colloidale, nanoindentazione tramite AFM, processi dip-pen.

Tecniche meccaniche: macinazione, assottigliamento

Tecniche bottom-up:

- nucleazione in fase liquida
- riduzione di complessi metallici
- spray-drying
- pirolisi
- processi sol-gel
- reazioni in fase vapore
- reazioni in fase solida
- nucleazione eterogenea

Processi di funzionalizzazione

Processi di ricopertura

Processi di riempimento

Processi di organizzazione e allineamento di nanofili e nanoparticelle .

Proprietà ed applicazioni delle varie classi di nanostrutture

Caratterizzazioni strutturali, tecniche di preparazione, proprietà ed applicazioni di importanti classi di materiali, con particolare riferimento ai nanomateriali di Si e di Carbonio (fullereni, nanotubi, grafene, onions nanodiamante) ed ad alcuni ossidi: SiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, ZnO, TiO<sub>2</sub>.

Nanomateriali per sensoristica

Nanomateriali per celle fotovoltaiche DSSC e plastiche

Nanomateriali per catalisi

- *In inglese*

*Introduction to nanoscience and nanotechnology. State-of-art and perspectives.*

*Nanomaterials and nanostructures ( 1-D, 2-D, 3-D):*

*nanoparticles, nanopowders, nanocages, nanoporous materials, quantum dots, nanotubes, nanowires and nanofibers, dendrimers, thin films.*

*Bottom-up and top-down approaches.*

*Preparation techniques: chemical synthesis, physical processes, post-synthesis chemical-physical treatments.*

*Properties and applications of carbon nanomaterials (fullerenes, graphenes, nanotubes, nanodiamonds ) and oxides. Nanomaterials for sensing. Nanomaterials for DSSC and plastic solar cells.*

\* \* \* \* \*

### **Materiali per la Produzione Industriale - 6 CFU**

*Prof.<sup>ssa</sup> Francesca Nanni (Fruito dal corso di Laurea in Ingegneria Meccanica) [I anno, I semestre]*

#### Programma

- *In italiano*

Il corso è articolato sullo studio di particolari classi di materiali che hanno visto negli ultimi anni crescere il loro impiego in applicazioni industriali. Si partirà con lo studio dei materiali compositi matrice polimerica e se ne analizzerà il loro impiego in applicazioni quali automotive, applicazioni aeronautiche ed aerospaziali, ingegneria civile. Si proseguirà con lo studio dei sistemi e delle metodologie di rivestimento per applicazioni tribologiche, di barriera termica e funzionali (TCO per applicazioni in elettronica). In definitiva il corso sarà articolato come segue:

1. Materiali compositi:

*materiali compositi a matrice polimerica (PMC):*

principali tipi di rinforzi e di matrici

compositi a fibre lunga, fibra corta , particellari

micromeccanica dei compositi unidirezionali e particellari

cenni alla teoria della lamina e del laminato

cenni ai nanocompositi

2. Ingegneria delle superfici:

processi di termo spruzzatura (plasma spray, flame spray, arc spray, ecc.)

processi di deposizione da fase vapore (PVD e CVD)

Processi sol-gel



Cenni di Tribologia

Esempi di applicazioni Industriali dei coatings: barriere termiche, rivestimenti trasparenti conduttori, rivestimenti antiusura e modificatori di attrito. processi di termo spruzzatura (plasma spray, flame spray, arc spray, ecc.)

processi di deposizione da fase vapore (PVD e CVD)

3. Materiali Elastomerici

Diversi tipi di materiali elastomeri e fillers, mescole elastomeriche, vulcanizzazione, correlazione tra le proprietà degli elastomeri e le proprietà tribologiche delle gomme, processi di produzione industriali delle gomme, metodi di caratterizzazione

4. Applicazioni Industriali di Materiali Polimerici, Compositi ed Elastomerici

Gomme, Termoplastici elastomerici, tecnopolimeri

Applicazioni all'industria: spaziale, dell'autoveicolo, aeronautica, del food packaging, dello sport e tempo libero

5. Esperienza di laboratorio con realizzazione di un materiale composito via vacuum bagging e sua caratterizzazione meccanica e micro strutturale, analisi del ciclo di vulcanizzazione delle mescole elastomeriche.

- *In inglese*

*The course deals with the study of those classes of materials which have registered an increasing interest in many industrial applications. In particular, polymeric composite materials will be deeply analyzed with peculiar attention to their application in automotive, aeronautic, aerospace and civil engineering applications. Then major coating systems and technologies will be presented in view of tribological, thermal barriers and functional (as TCO in electronic industries) applications.*

*In detail, the course will follow this scheme:*

*1. Composite materials:*

*polymeric matrix composite materials (PMC):*

*major types of matrix and reinforcements*

*long short fibres and particle filled composites*

*micromechanics of unidirectional and short fiber composites*

*fundamentals of the theory of lamina and laminates*

*fundamentals of nanocomposite materials*

*2. Surface engineering:*

*Thermal spray processes (plasma spray, flame spray, arc spray, ecc.)*

*Physical vapour deposition techniques (PVD e CVD)*

*Sol-gel processing*

*Basics of tribology*

*Practical application of coatings: thermal barriers, transparent conductive coatings, wear protections, coatings to modify friction performance*

*3. Elastomers*

*Types of elastomers and fillers, elastomeric compounds, vulcanization, correlation between properties and tribological performance; industrial production of rubbers, methods of characterization.*

*4. Industrial Application of Polymers and Composites*

*Rubbers, thermoplastic elastomers, tecnopolymers with particular focus on space, aeronautic, automotive engineering, food packaging, sport and leisure time applications*

5. Lab experience: realization of a PMC and its microstructural and mechanical characterization.

Analysis of the vulcanization process of an elastomeric compound

\*\*\*\*\*

### **Materiali Superconduttori - 6 CFU**

*Prof. Matteo Cirillo [II anno, I semestre]*

#### Programma

- *In italiano*

Elementi di criogenia e delle tecniche di raffreddamento dei gas. Raffreddamento isentalpico ed isoentropico. Liquefazione e proprietà degli isotopi dell'elio: la superfluidità ed i condensati. Scambiatori di calore, motori ad espansione, cryocoolers, refrigeratori a diluizione. Smagnetizzazione adiabatica e nucleare. Termometria a basse temperature. Superconduttori del I e del II tipo. Proprietà magnetiche dei superconduttori. Il modello di London e la teoria fenomenologica di Landau-Ginsburg. Superconduttività debole (effetto Josephson e SQUIDS). I cuprati e le altre nuove famiglie di materiali superconduttori. La superconduttività a bassa dimensionalità.

- *In inglese*

*Principles of cryogenic techniques and gas cooling. Isentropic and isenthalpic cooling. The properties of Helium isotopes: superfluidity and the condensates, Heat exchangers, expansion engines, cryocoolers, dilution refrigerators. Atomic and nuclear adiabatic demagnetization. Low temperature thermometry. Type I and type II superconductors. Magnetic properties of superconductors. London model and phenomenological Landau-Ginsburg equations. Weak superconductivity (Josephson effect and SQUIDS). Cuprates and other families of new superconductive materials. Low dimensional superconductivity.*

\*\*\*\*\*

### **Metallurgia - 6 CFU**

*Prof. Roberto Montanari (Fruito dal corso di Laurea in Ingegneria Meccanica) [I anno, II semestre]*

#### Programma

- *In italiano*

1- I difetti reticolari 2- La deformazione plastica 3- I meccanismi di rafforzamento dei metalli 4- Recupero, ricristallizzazione e crescita del grano 5- La solidificazione 6- La metallurgia delle polveri 7- Sviluppo e perfezionamento di nuovi materiali metallici

- *In inglese*

*1 - The lattice defects 2 - The plastic deformation 3 - The strengthening mechanisms of metals 4 - Recovery, recrystallization and grain growth 5 - The solidification 6 - Powder metallurgy 7 - Development and improvement of new metallic materials.*

#### Testi consigliati:

*Appunti delle lezioni.*

\*\*\*\*\*

### **Microscopia e Nanoscopia - 6 CFU**

*Prof.ssa Anna Sgarlata [II anno, I semestre]*

#### Programma

- *In italiano*

Introduzione alla Scienza e Tecnologia su scala Nanometrica. Tecniche di Superficie in Ultra Alto Vuoto e Struttura delle Superfici Solide.

Principali processi fisici che intervengono quando una particella carica e/o una radiazione interagiscono con la materia.

La Microscopia di sonda a Scansione: in particolare la Microscopia a Scansione a Effetto Tunnel, in Vuoto e in Liquido e La Microscopia a Forza Atomica.

La Microscopia Elettronica : in particolare in Trasmissione e in Scansione.

Moderne tecniche di litografia su scala nanometrica quali la Nanolitografia basata sull'Autorganizzazione e la Nanostrutturazione Artificiale e Naturale dei materiali.

Per ogni tecnica sperimentale studiata sono individuati i principi teorici di funzionamento, l'apparato sperimentale, l'analisi dei dati e le possibili informazioni deducibili dalle diverse tecniche di acquisizione.

Elemento caratterizzante del corso è l'attività sperimentale condotta presso Laboratori di Ricerca del Dipartimento.

- *In inglese*

*Introduction to Science and Technology at the nanoscale. Techniques for Ultra High Vacuum and Surface Structure of Solid Surfaces . Main physical processes involved when a charged particle or radiation interact with matter.*

*Scanning Probe Microscopy : in particular Scanning Tunnel Microscopy (STM) in Vacuum and in liquid (EC\_STM ) and Atomic Force Microscopy. We have identified the theoretical principles, the experimental apparatus and the analysis of data.*

*Electron Microscopy : in particular transmission (TEM ) and scanning (SEM).*

*Modern techniques of lithography at the nanoscale , such as nanolithography and self assembling.*

*For each experimental technique the following topics are focused: theoretical principles, experimental apparatus, data analysis and quantitative information inferred.*

*A special feature of this course is the experimental activity carried out at the Department's Research Laboratories.*

\* \* \* \* \*

### **Introduzione all'Ottica Quantistica - 6 CFU**

*Dott. Fabio De Matteis [I anno, II semestre]*

#### Programma

- *In italiano*

Dal campo elettromagnetico alla luce. I coefficienti di Einstein. Transizioni radiative negli atomi, allargamenti di riga, generalità sul laser. Fluttuazioni classiche dell'intensità di una sorgente, le diverse scale dei tempi coinvolte. Collegamento tra grandezze misurabili (assorbimento, riflettività,

indice di rifrazione) e caratteristiche microscopiche di un materiale. Teoria della risposta causale lineare: le relazioni di dispersione di Kramers-Kronig. La quantizzazione del campo elettromagnetico: il fotone. Interazione radiazione materia quantistica. Caratteristiche della radiazione classica: coerenza del primo e del secondo ordine. Formulazione quantistica: come si modifica il formalismo per la coerenza del primo e del secondo ordine. Differenze ed analogie. L'esperienza di Young. L'esperienza di Hanbury-Brown e Twiss. Stati coerenti di radiazione e stati numero di fotoni. Stati squeezed. Stati entangled. Generazione di coppie di fotoni entangled. Esperimenti di interferenza a fotone singolo. Teorema di Bell. Principii di crittografia quantistica. Sorgenti di singolo fotone. Il concetto di qubits. Gate e circuiti logici quantistici.

**ESPERIMENTI DI LABORATORIO**

La simulazione di una sorgente di radiazione caotica

L'esperienza di Young nella forma originale del 1803

La misura del fotone singolo con un fotomoltiplicatore, separazione del segnale dal rumore. Statistica dei conteggi per differenti tipologie di fascio luminoso

- *In inglese*

*From the electromagnetic field to light. The Einstein coefficients. Radiative transitions in atoms, line broadening, general information about the laser. Classical fluctuations of the intensity of a source, the different time scales involved. Connection between measurable quantities (absorption, reflectivity, refractive index) and microscopic characteristics of a material. Causal linear response theory: the dispersion relations of Kramers - Kronig. The quantization of the electromagnetic field: the photon. Quantum radiation-matter interaction. Radiation characteristics of classical coherence of the first and second order. Quantum formulation: how to change the formalism to the consistency of the first and second order. Differences and similarities. The Young's experiment. The experiment of Hanbury - Brown and Twiss. Coherent state of radiation and state number of photons. Squeezed states. Entangled states. Generation of entangled photon pairs. Single-photon interference experiments. Bell's theorem. Basic principles of quantum cryptography. Single-photon sources. The concept of qubits. Quantum logic gates and circuits.*

**LABORATORY EXPERIMENTS**

*The simulation of a chaotic source of radiation*

*The experiment of Young in the original form of 1803*

*The measurement with a photomultiplier of single photon, separation of the signal from the noise.*

*Statistic of the counts for different types of beam*

\* \* \* \* \*

**Probabilità e Statistica - 6 CFU**

*Prof. Claudio Macci (Fruito dal corso di Laurea in Informatica) [I anno, I semestre]*

Programma

- *In italiano*

Spazi di probabilità. Probabilità condizionata. Formula delle probabilità totali. Formula di Bayes. Eventi indipendenti. Cenni di calcolo combinatorio. Introduzione alle variabili aleatorie. Funzione di distribuzione. Variabili aleatorie discrete e distribuzioni discrete di uso comune (ipergeometrica,

binomiale, geometrica, binomiale negativa, Poisson). Variabili aleatorie discrete multidimensionali. Variabili aleatorie discrete indipendenti. Speranza matematica, momenti, varianza e covarianza per variabili aleatorie discrete. Disuguaglianza di Cebichev. Regressione lineare. Variabili aleatorie continue e distribuzioni continue di uso comune (uniforme, esponenziale, normale, Gamma). Processo di Poisson. Speranza matematica, momenti e varianza per variabili aleatorie continue. Legge dei grandi numeri. Teorema limite centrale. Approssimazione normale.

- *In inglese*

*Probability spaces. Conditional probability. Formula of total probability. Bayes formula. Independent events. Elements of combinatorics. Introduction to random variables. Distribution function. Discrete random variables and discrete distributions in common use (hypergeometric, binomial, geometric, negative binomial, Poisson). Multidimensional discrete random variables. Independent discrete random variables. Mathematical expectation, moments, variance and covariance for discrete random variables. Cebichev Inequality. Linear regression. Continuous random variables and continuous distributions in common use (uniform, exponential, normal, gamma). Poisson process. Mathematical expectation, moments and variance for continuous random variables. Law of large numbers. Central limit theorem. Normal approximation.*

\* \* \* \* \*

**Teoria dei Solidi e Modelli Molecolari - 8 CFU**

Prof.<sup>ssa</sup> Olivia Pulci, Prof.<sup>ssa</sup> Maurizia Palumbo (codocenza) [I anno, I semestre]

Programma

- *In italiano*

L'approssimazione di Born-Oppenheimer

L'approssimazione adiabatica

Il teorema di Hellmann-Feynman e di Epstein

Richiami alla teoria delle bande nei solidi Teorema di Bloch, boundary conditions Metodo variazionale.

Metodo tight-binding e sue applicazioni in materiali a varia dimensionalità. Metodo delle Onde-Piane Ortogonalizzate Metodo degli Pseudopotenziali e dello sviluppo in onde piane della Funzione d'onda

Equazione di Hartree e Hartree Fock, Teorema di Koopmans, potenziale di scambio Gas elettronico omogeneo: Trasformata di Fourier del potenziale coulombiano il gas elettronico omogeneo con Hartree Fock. Approssimazione di Slater, Approssimazione di Thomas Fermi. Derivate funzionali

La teoria del Funzionale Densità'

Teorema di Hohenberg e Kohn, Equazioni di Kohn e Sham.

La Local density Approximation. Il problema della gap in DFT.

Esempi di applicazioni della DFT

Proprietà ottiche Indice di rifrazione complesso. Coefficiente di assorbimento.

La Riflettività'. La funzione dielettrica. Relazioni di Kramers Kronig e regole di somma

Regola d'oro di Fermi: Calcolo della funzione dielettrica in approssimazione di dipolo

Esempi di funzione dielettrica per metalli, semiconduttori, isolanti. Densità' degli stati congiunta(JDOS) Andamento della JDOS vicino ai punti critici.

Teoria della risposta lineare e TDDFT.

Effetti eccitonici: modello idrogenoide di Mott-Wannier

Equazione di Boltzman per trasporto elettronico e termico

Tensore di conducibilità elettrica e termica. Cenni fenomeni termoelettrici

Dinamica Molecolare Classica ed ab-initio

Teorie ab-initio di stato eccitato

Funzioni di Green classiche. Formalismo della seconda quantizzazione. Propagatore quantistico di singolo elettrone/buca e sua rappresentazione di Lehmann e relazione con eccitazioni elettroniche.

Equazione di Dyson. Concetto di Self-energia. Equazione di quasi-particella. Metodo GW. Equazione di Bethe-Salpeter per il calcolo ab-initio di effetti eccitonici nella risposta ottica.

Esercitazioni al computer su DFT, TDDFT, GW e BSE

che prevedono anche una introduzione ai principali comandi in ambiente linux.

- *In inglese*

*The Born-Oppenheimer approximation*

*The adiabatic approximation*

*The Hellmann - Feynman theorem , Epstein theorem.*

*Band theory in solids Bloch theorem , boundary conditions variational method , tight-binding method and its applications – Orthogonalized Plane Waves, pseudopotentials .*

*Ab-initio methods : Hartree and Hartree Fock equation , Koopmans theorem , potential for gas exchange electronic homogeneous Fourier Transform Coulomb potential of the homogeneous electron gas with the Hartree Fock. Approximation of Slater, Thomas Fermi approximation. functional derivatives*

*Density Functional Theory . Theorem of Hohenberg and Kohn , Kohn and Sham equations .*

*The Local Density Approximation . The problem of the gap in DFT*

*Examples of applications of DFT*

*Optical properties*

*Complex refraction index. The absorption coefficient.*

*The reflectivity . The dielectric function . Kramers Kronig relations and sum rules*

*Fermi's golden rule : Calculation of the dielectric function in the dipole approximation*

*Examples of dielectric function for metals, semiconductors, insulators . Joint density of states ( JDOS ) and its behaviour near the critical points.*

*Linear response theory and TDDFT .*

*Boltzman equation for electric and thermal transport*

*Classical and ab-initio molecular dynamics*

*Excitonic effects : model hydrogen- Mott – Wannier.*

*Ab-initio excited state theories Classical Green's functions . Formalism of second quantization .*

*Quantum propagator of a single electron / hole and its representation of Lehmann and relationship with electronic excitations . Dyson equation . Self energy concept . Quasi-particle Equation. GW method . Bethe- Salpeter equation for the calculation of excitonic effects in the optical response .*

*Practical lessons at computer of DFT , TDDFT , GW and BSE*

*which include an introduction to the main commands in linux environment*

*Testi di riferimento*

*Appunti delle lezioni e materiale didattico distribuito dai docenti. Solid state physics - Grosso-Pastori-Parravicini. Optical properties of Solids - Wooten. Mattuck - A guide to Feynman Diagram of the many-body problem.*