



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

SCUOLA DI SCIENZE

Bollettino Notiziario

Anno Accademico 2014/2015

**Laurea magistrale in Scienza dei Materiali
(Ord. 2013)**

Curriculum: Corsi comuni

CHIMICA FISICA DEI MATERIALI

(Titolare: Prof. RENATO BOZIO)

Periodo: I anno, 1 semestre
Indirizzo formativo: Corsi comuni
Tipologie didattiche: 48A; 6,00 CFU

ELETTROCHIMICA DEI MATERIALI

(Titolare: Prof. ARMANDO GENNARO)

Periodo: Il anno, 1 semestre
Indirizzo formativo: Corsi comuni
Tipologie didattiche: 48A; 6,00 CFU

Prerequisiti :

Buone conoscenze di Chimica generale ed inorganica e di Chimica fisica.

Conoscenze e abilità da acquisire :

Il corso si prefigge di fornire la conoscenza dei fondamenti dell'elettrochimica, in particolare del processo di trasferimento elettronico e delle principali tecniche elettrochimiche di caratterizzazione dei materiali, con particolare riferimento al loro impiego nei dispositivi elettrochimici per l'energetica e la sensoristica.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

L'insegnamento sarà frontale. Inoltre sarà organizzata una visita al Laboratorio di Elettrochimica per una visione delle principali tecniche elettrochimiche e la caratterizzazione dei materiali elettrodici.

Contenuti :

1. Conduttori elettrici: conduttori elettronici; conduttori ionici. Materiali innovativi per applicazioni elettrochimiche.
2. Elettrodo; elettrificazione interfacciale, potenziale elettrodico, tipi di elettrodi.
3. Cinetica del processo elettrochimico; trasferimento elettronico e teoria di Butler-Volmer; trasporto di materia, diffusione.
4. Tecniche voltammetriche; voltammetria lineare e ciclica su elettrodo stazionario; elettrodo a disco rotante.
5. Elementi di spettroscopia di Impedenza, cenni generali, circuiti equivalenti; diagrammi di Nyquist e di Bode
6. Microscopia elettrochimica
7. Elettrodeposizione di metalli ed elettrodi nanostrutturati
8. Energetica elettrochimica: pile e celle a combustibile.

Modalità di esame :

Esame orale.

Criteri di valutazione :

Verà valutato il grado di conoscenza acquisita e la capacità di descrivere in modo logico le principali applicazioni elettrochimiche dei materiali innovativi.

Testi di riferimento :

J.O'M. Bockris, A.K.N. Reddy, Modern Electrochemistry Vol. 1, 2A e 2B. New York: Kluwer Academic/Plenum Press, 1998
Bard, Allen J.; Faulkner, Larry R., Electrochemical Methods, Fundamentals and applications; 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, 2001

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Saranno fornite dispense su tutto il programma svolto.

FISICA E TECNOLOGIA DEI SEMICONDUTTORI

(Titolare: Prof. DAVIDE DE SALVADOR)

Periodo: I anno, 1 semestre
Indirizzo formativo: Corsi comuni
Tipologie didattiche: 48A+24E; 8,00 CFU

Prerequisiti :

Conoscenza di base della fisica quantistica e dello stato solido.

Conoscenze e abilità da acquisire :

Conoscenze: principi fisici alla base del comportamento dei materiali semiconduttori. L'obiettivo del corso è fornire i concetti di base che permettano allo studente di comprendere il principio di funzionamento di un semplice dispositivo a semiconduttore. Dopo una prima parte in cui vengono introdotti i principi fisici, verranno descritti i principali dispositivi e alcuni processi fisici che servono a fabbricarli.

Lo studente alla fine del corso dovrebbe avere l'abilità di prevedere quale struttura a bande assume un semplice sistema che contenga

metalli, isolanti e semiconduttori drogati e di comprendere la spiegazione di come tale struttura si comporta in presenza di sollecitazioni esterne (campi, illuminazione...).

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezione frontale con esposizione delle teorie di base e dei principi di funzionamento dei dispositivi. Esempi di approfondimento che permettano di applicare le teorie esposte e di quantificare gli ordini di grandezza dei parametri fisici coinvolti. Richiamo alle attività di laboratorio parallelamente svolte nel corso di metodi fisici di caratterizzazione dei materiali e loro connessione con la teoria.

Contenuti :

Richiamo della struttura cristallina dei principali semiconduttori. Semiconduttori elementari, composti e leghe.

Richiamo di concetti di base (teorema di Bloch, massa efficace, concetto di buca).

Origine e specificità della struttura a bande dei semiconduttori. Metodo tight binding per il calcolo approssimato delle bande in un semiconduttore a struttura diamante. Le bande reali (esempi GaAs, Si, Ge, AlGaAs).

Il metodo della funzione iniluppo per il calcolo degli stati quantistici provenienti da potenziali aperiodici.

Il meccanismo di drogaggio. I portatori in un semiconduttore omogeneo in funzione di drogaggio e temperatura (semic. non degenerare, intrinseco, ionizzato, non ionizzato, in saturazione). La compensazione da livello profondo.

Il semiconduttore non omogeneo all'equilibrio. Il caso della giunzione p-n.

Trasporto di carica nei semiconduttori. Dall'equazione di Boltzmann all'equazione di drift-diffusione. Fenomeni di scattering intrabanda mobilità in un semiconduttore.

I meccanismi di generazione e ricombinazione in un semiconduttore.

L'equazione di continuità. Il caso della giunzione p-n fuori equilibrio.

Le eterogiunzioni le giunzioni metallo/semiconduttore, metallo/ossido/semiconduttore.

Il confinamento quantistico nei semiconduttori, quantum well, quantum wire, quantum dot.

LED, fotodetector. Celle fotovoltaiche. Diverse architetture e materiali per il fotovoltaico. Efficienza. Meccanismi di perdita di efficienza.

Celle a film sottile.

Tecnologie produttive. Transistor bipolare e FET. Struttura MOS.

Tecniche per il drogaggio. Impianto ionico. Diffusione e difetti.

Isolanti, ossidazione termica.

Legge di Moore e riscaldamento. Problematiche e nuovi materiali.

Modalità di esame :

Esame orale. Durante il semestre sarà possibile (a discrezione dello studente) sostenere una verifica intermedia orale sulla prima parte del corso riguardante i principi fisici e sostenere alla fine una seconda parte riguardante i dispositivi e i processi.

Criteri di valutazione :

Verranno valutate:

- la capacità di esporre una o più delle teorie di base che spiegano il comportamento fisico dei semiconduttori.

- la comprensione del principio di funzionamento di uno o più dispositivi a semiconduttore spiegati nel corso.

- la capacità di comprendere la struttura a bande e il comportamento elettrico di una semplice struttura contenente semiconduttori drogati, metalli e isolanti.

Testi di riferimento :

Sapoval, Physics of semiconductors. : Springer Verlag,

Singh, Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures. : Cambridge,

Meyer, Electronic thin film science for Electrical Engineers and Materials Scientists. : Macmillan Publishing Company,

FONDAMENTI DI NANOSCIENZA

(Titolare: Prof. GIOVANNI MATTEI)

Periodo: 1 anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 56A+12L; 8,00 CFU

Sede dell'insegnamento : Dipartimento di Scienze Chimiche

Aule : Vedere gli orari dei corsi sul sito web del Corso di Studi

Prerequisiti :

Fisica Quantistica, Fisica dello Stato Solido

Conoscenze e abilità da acquisire :

Il corso si prefigge i seguenti obiettivi formativi:

- Fornire le basi per la comprensione delle proprietà chimico-fisiche dei materiali nanodimensionali che sono alla base delle loro potenziali applicazioni nel campo delle nanotecnologie.

- Presentare alcune tecniche di sintesi e caratterizzazione di nanostrutture confinate (nanocluster) con applicazioni in nanotecnologia e in particolare in fotonica, in plasmonica e nel magnetismo.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Il corso prevede lezioni frontali tenute dal Prof. G. Granozzi, dal Prof. M. Meneghetti (Modulo A) e dal Prof. G. Mattei (Modulo B). Il Modulo B prevede esercitazioni di laboratorio come applicazione dei contenuti visti a lezione (sintesi, caratterizzazione ottica e simulazione con la teoria di Mie di nanoparticelle metalliche in soluzione e loro caratterizzazione con microscopia elettronica).

Contenuti :

Modulo A

- Panoramica sui metodi di preparazione delle nanostrutture (sia top-down che bottom-up, con particolare enfasi sulle seconde). Aspetti strutturali ed energetici delle nanostrutture e metodi per la loro stabilizzazione. Solidi a bassa dimensionalità e composti di intercalazione. Difetti di punto e loro dinamica: loro rilevanza nei materiali nanodimensionali. Composti inorganici a stechiometria variabile. Nanostrutture a base inorganica: esempio al caso degli ossidi e solfuri (nanodots, nanowires, nanotubes, nanobelts, nanosheets) e studio delle loro relazioni struttura-proprietà.

- Richiamo delle equazioni fondamentali per la descrizione della dinamica di elettroni e fotoni. Proprietà della materia che consentono il confinamento di elettroni e fotoni. Densità degli stati per sistemi confinati in una, due o tre dimensioni. Modelli per il confinamento di

elettroni in quantum dots di semiconduttori e conseguenze per le proprietà ottiche ed elettroniche. Confinamento di elettroni in particelle metalliche e proprietà di assorbimento plasmonico delle nanostrutture. Confinamento di fotoni in cristalli fotonici e applicazioni nel campo della fotonica.

- Proprietà di nanostrutture a base di carbonio: fullereni e nanotubi di carbonio. Descrizione tight binding degli stati elettronici e proprietà ottiche e di conduzione dei nanotubi di carbonio.

Modulo B

- Classificazione, caratteristiche e proprietà generali dei materiali nanostrutturati: confinamento quantico e proprietà elettroniche. Equazioni di taglia. Termodinamica dei sistemi nanostrutturati: effetto di taglia termodinamico, nucleazione (equazione di Gibbs-Thomson) e crescita di nanostrutture (regimi di aggregazione limitata dalla diffusione e Ostwald ripening)

- Nanostrutture in matrice solida: impianto ionico per la sintesi e la modifica di nanostrutture metalliche o bimetalliche (alligazione e dealligazione).

- Proprietà e applicazioni dei materiali nanostrutturati: (i) proprietà plasmoniche di nanostrutture metalliche (Teoria di Mie e sue estensioni); (ii) confinamento quantico e fotoluminescenza; (iii) proprietà magnetiche (super-paramagnetismo)

- Tecniche di caratterizzazione di nanostrutture: la microscopia elettronica in trasmissione (TEM) e in scansione (SEM).

MUTUAZIONE

Il presente corso viene parzialmente (solo il Modulo B) mutuato dal corso di 'Fondamenti di NanoFisica' della LM in Fisica. Per tale corso sono previsti 2 CFU iniziali con i seguenti contenuti:

- Richiamo delle equazioni fondamentali per la descrizione della dinamica di elettroni e fotoni;

- Confinamento di elettroni e fotoni in sistemi nanostrutturati:

(i) Confinamento di fotoni in cristalli fotonici;

(ii) Confinamento di elettroni in nanoparticelle metalliche;

(iii) Confinamento di elettroni in quantum dots.

Modalità di esame :

Prova Scritta

Criteri di valutazione :

La valutazione della preparazione si baserà sulla comprensione degli argomenti svolti e sulla capacità di fare collegamenti fra diversi argomenti. Si valuteranno anche le relazioni scritte presentate sulla parte di esercitazione.

Testi di riferimento :

S. Maier, Plasmonics, fundamentals and applications. : Springer, 2007

C. Bohren, D. Huffman, Absorption and scattering of light by small particles. : Wiley-Interscience, 2004

P. Prasad, Nanophotonics. : Wiley-Interscience, 2004

D. Williams, C. Carter, Transmission Electron Microscopy. : Plenum Press, 1996

R. Kelsall, I. Hamley, M. Geoghegan, Nanoscale Science and Technology. : J. Wiley & Sons, 2005

G. Cao, Nanostructures and Nanomaterials. : Imperial College Press, 2004

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Verranno fornite dispense da parte dei Docenti. Gli argomenti e i contenuti trattati potranno essere approfonditi e/o integrati sui testi indicati nella sezione 'Testi di Riferimento'.

INTRODUZIONE ALLA BREVETTAZIONE

(Titolare: Dott. SILVANA LORENZI) - Mutuato da: Laurea magistrale in Chimica (Ord. 2013)

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: +12E; 1,00 CFU

Sede dell'insegnamento : Dipartimento di Scienze Chimiche

Prerequisiti :

Cultura chimica di base.

Conoscenze e abilità da acquisire :

Il corso è indirizzato a fornire una preparazione di base sui diritti di proprietà industriale, in particolare in ambito chimico e settori correlati. Saranno fornite conoscenze di base su tre aspetti fondamentali:

i) che cosa è un' invenzione e quali invenzioni sono brevettabili;

ii) come definire un' invenzione in campo chimico e settori correlati ai fini brevettuali; e

iii) quali sono gli strumenti procedurali per ottenere una tutela legale dei diritti di brevetto in Italia e all'estero.

Lo scopo è permettere ai partecipanti al corso di:

i) capire le problematiche connesse all' identificazione di un' invenzione rispetto al normale progresso tecnico del settore;

ii) leggere un documento brevettuale e capire il significato del linguaggio tecnico usato ai fini della tutela legale dell' invenzione.

Allo scopo alla teoria sarà affiancata l' analisi di casi pratici.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Presentazioni in Powerpoint; analisi di casi pratici ed esercitazioni sui temi trattati.

Contenuti :

Le linee generali su cui sarà sviluppato il corso sono:

• il concetto di invenzione;

• il brevetto verso il segreto industriale;

• i requisiti dell'invenzione;
• i requisiti della domanda di brevetto;
• la funzione del brevetto;
• i diritti dell'inventore e del richiedente;
• la struttura della domanda di brevetto e le peculiarità del brevetto chimico (definizione dell'invenzione mediante la formula generale e i parametri funzionali; le tipologie di rivendicazioni ed il loro ambito);
• le procedure di deposito ed esame, con particolare riferimento all'esame secondo la normativa italiana (Codice della Proprietà Industriale) ed europea (EPC);
• le strategie di brevettazione e le convenzioni internazionali ed europee (la Convenzione Unionista di Parigi; gli accordi TRIPs; Il Patent Cooperation Treaty PCT; la European Patent Convention EPC ed il Brevetto Unitario).

Modalità di esame :

Esame scritto

Criteri di valutazione :

La valutazione si baserà su un test scritto a risposta multipla in modo di valutare la comprensione e l'acquisizione corretta dei concetti teorici ai fini di una loro applicazione autonoma.

Testi di riferimento :

Diego De Vita, *Brevettare facile*. Firenze: Finanze & Lavoro, 2010

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Testi di consultazione consigliati:

AA.VV. a cura di A. Vanzetti, *I nuovi brevetti. Biotecnologie ed Invenzioni Chimiche*, 1995, Giuffrè Editore

A. Vanzetti e V. Di Cataldo, *Manuale di Diritto Industriale*, 7ª ed., 2012, Giuffrè Editore

LABORATORIO DI PREPARAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI 2

(Titolare: Prof. DANILO PEDRON)

Periodo: I anno, 2 semestre
Indirizzo formativo: Corsi comuni
Tipologie didattiche: 8A+10E+96L; 10,00 CFU
Sede dell'insegnamento : Dipartimento di Scienze Chimiche
Aule : Vedere gli orari dei corsi sul sito web del Corso di Studi

Prerequisiti :

Conoscenze acquisite nei Corsi della Laurea Triennale, in particolare: *Chimica Organica I*, *Chimica Organica II per Scienza dei Materiali* e *Chimica Fisica II*.

Conoscenze e abilità da acquisire :

Competenze riguardanti la preparazione di materiali innovativi e la loro caratterizzazione, attraverso l'uso prevalente di tecniche spettroscopiche.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni d'aula e in laboratorio volte ad introdurre lo studente alle attività del corso. Attività di laboratorio svolte autonomamente dagli studenti.

Contenuti :

Presentazione:

Durante il corso verranno condotte esperienze di chimica organica e di chimica "fisica", volte alla preparazione di materiali innovativi e alla loro caratterizzazione, attraverso l'uso prevalente di tecniche spettroscopiche.

Programma:

Durante il laboratorio di sintesi organica saranno preparate, purificate e caratterizzate diverse molecole che rivestono interesse in applicazioni legate a materiali innovativi, quali: fulleropirrolidine; metalloporfirine, nanoparticelle, molecole precursori per organogel, azobenzoni; per la purificazione di tali molecole si utilizzeranno tecniche di estrazione e separazione per cromatografia; la caratterizzazione sarà basata su tecniche quali spettrometria NMR, spettrometria di massa, spettroscopie IR e UV.

La parte di caratterizzazione chimico-fisica prevede esperimenti di Spettroscopia di assorbimento ed emissione nell'UV "Vis". Tecniche FT "IR" "Vis" per lo studio delle proprietà ottiche lineari di materiali e film sottili: riflettanza totale attenuata (ATR) e riflettanza speculare. Spettroscopia micro "Raman e Raman "SERS. Caratterizzazione delle proprietà di assorbimento non lineare di materiali molecolari con misure di z "scan ed input "output.

Modalità di esame :

Valutazione relazioni di laboratorio, orale/scritto.

Criteri di valutazione :

La votazione si baserà sulla valutazione delle relazioni di laboratorio e su un esame orale/scritto.

Testi di riferimento :

P.W. Atkins e R.S. Fridman, *Molecular Quantum Mechanics*. : Oxford, 1997

Clayden, Greeves, Warren, Wothers, "Organic Chemistry". : ,

H. Kuzmany, *Solid State Spectroscopy*. : Springer, 1998

R.W. Boyd, *Nonlinear Optics*. : Academic Press, 1992

M. Fox, *Optical Properties of Solids*. : Oxford, 2001

Silverstein, Bassler, Morrill, "Spectrometric Identification of Organic Compounds". : ,

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Dispense di lezione e articoli di letteratura indicati dai Docenti.

MATERIALI INORGANICI FUNZIONALI

(Titolare: Prof.ssa ANTONELLA GLISENTI)

Periodo: I anno, 2 semestre
Indirizzo formativo: Corsi comuni
Tipologie didattiche: 48A; 6,00 CFU
Sede dell'insegnamento: Dipartimento di Scienze Chimiche

Conoscenze e abilità da acquisire:
capacità previsionale relativamente alle proprietà chimiche di materiali inorganici

capacità di progettazione di materiali inorganici e di procedure di sintesi o di eventuali trattamenti al fine di ottenere specifiche caratteristiche chimiche e chimico-fisiche

capacità di individuare le principali problematiche relative agli aspetti funzionali dei materiali e dei dispositivi

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento:

Lezioni frontali

Contenuti:

Il corso si propone di approfondire alcuni aspetti legati a materiali inorganici rilevanti da un punto di vista applicativo e funzionale.

L'approccio metodologico sarà improntato al tentativo di mettere in relazione gli aspetti funzionali con le caratteristiche chimiche, fisiche, strutturali, morfologiche del materiale da un lato e le specificità tecnologiche ed applicative dall'altro. Nell'ampia casistica di possibili materiali e dispositivi saranno presi in considerazione principalmente quelli più promettenti nell'ottica di uno sviluppo sostenibile.

In particolare saranno considerati:

if,, Materiali a base ossidica utilizzabili in celle a combustibile ad ossido solido. In funzione di tale applicazione saranno approfonditi sia gli aspetti legati alla sintesi ed alle più significative caratteristiche chimiche e fisiche (reattività, conducibilità, stabilità, permeabilità) che le problematiche legate al settore delle celle a combustibile. In particolare le specificità di sistemi ossidici saranno discusse in relazione al loro impiego nel settore anodico, catodico ed elettrolitico.

if,, Reazioni sostenibili per la produzione di combustibili alternativi ai combustibili fossili.

if,, L'anidride carbonica: da inquinante a risorsa.

if,, Energia dal sole: dai pannelli solari alla fotocatalisi.

if,, Materiali intercalati per lo stoccaggio, il trasporto ed il risparmio di energia.

if,, Siti attivi nelle reazioni di ossidoriduzione: la funzionalizzazione di materiali catalitici.

In tutti i casi i materiali verranno indagati nei diversi stadi che portano dalla sintesi alla realizzazione del dispositivo. A tal fine saranno richiamati, ogniqualvolta necessario, gli aspetti generali legati alle proprietà chimiche e strutturali, onde favorire il consolidarsi di un approccio costruttivo e progettuale allo studio dei materiali.

Modalità di esame:

Esame Orale

Criteri di valutazione:

verrà valutata la capacità critica e di affrontare e studiare un problema considerandone i diversi aspetti e le molteplici sfaccettature

verrà valutata la capacità di collegare la conoscenza chimica di base alle risposte funzionali ed alla progettazione dei materiali

Testi di riferimento:

CONTENUTO NON PRESENTE

Eventuali indicazioni sui materiali di studio:

Indicazioni bibliografiche fornite dal docente in funzione degli argomenti affrontati

MATERIALI ORGANICI FUNZIONALI

(Titolare: Prof. MICHELE MAGGINI)

Periodo: I anno, 1 semestre
Indirizzo formativo: Corsi comuni
Tipologie didattiche: 40A+10E; 6,00 CFU
Sede dell'insegnamento: Dipartimento di Scienze Chimiche
Aule: Vedere gli orari dei corsi sul sito web del Corso di Studi

Prerequisiti:

Corsi di chimica di base della laurea triennale

Concetto di allotropo; reattività del carbonio insaturo di olefine standard e tensionate e di acetileni; trasformazione del gruppo carbossilico in alogenuro acilico, estere, ammine, nitrile; addizione nucleofila al carbonio insaturo: in particolare addizione di litio- e magnesio-organici; reazioni aldoliche, cicloaddizioni (Diels-Alder; 1,3-dipolari per formare pirrolidine, aziridine, ciclopropani). Metodi semiempirici per la determinazione dello stato a minima energia di una struttura molecolare organica, calcolo e visualizzazione degli orbitali di frontiera di molecole organiche. Stati eccitati delle molecole organiche: stato di singoletto eccitato, di tripletto eccitato, intersystem crossing; ossigeno singoletto vs ossigeno molecolare naturale. Fondamenti di spettroscopia di assorbimento, emissione, IR, Raman. Spettrometria ¹H- e ¹³C-NMR; spettrometria di massa, fondamenti di analisi diffrattometrica, fondamenti di calorimetria (termogravimetria). Concetti di base della fisica dei semiconduttori inorganici, funzionamento di una cella solare convenzionale. Curve I/V caratteristiche, efficienza quantica di un dispositivo fotovoltaico, efficienza di conversione fotovoltaica, tensione a circuito aperto, corrente di cortocircuito. Concetti di base di elettrochimica (anodo, catodo, riduzione, ossidazione, architettura di una cella

elettrochimica). Trasferimento elettronico e di energia nelle molecole organiche. Concetto di band-gap nei semiconduttori inorganici e in quelli organici e metodi diretti e indiretti (ottici, elettrochimici) per la determinazione del band-gap. Principi di funzionamento di un LED, OLED, FET, OFET. Principali reazioni di polimerizzazione.

Conoscenze e abilità da acquisire :

Il corso di Materiali Organici Funzionali ha l'obiettivo di fornire allo studente le conoscenze di base per comprendere e progettare la sintesi e la funzionalizzazione di strutture molecolari organiche per la scienza dei materiali. In particolare saranno affrontate le principali funzionalizzazioni delle strutture a base di carbonio (grafite, fullerene, nanotubi di carbonio, grafene) e le sintesi di polimeri e oligomeri semiconduttori organici attraverso reazioni di condensazione e di formazione di legami carbonio-carbonio metallo catalizzate.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Il corso prevede lezioni frontali ed esercitazioni in aula. Le lezioni saranno svolte utilizzando la lavagna e attraverso l'impiego di slides per la schematizzazione dei contenuti e la discussione dei concetti che richiedono la rappresentazione di strutture molecolari complesse. Saranno inoltre svolti esercizi in aula a gruppi con correzione alla lavagna.

Contenuti :

Nanostrutture di carbonio

• Principi generali di reattività

• Funzionalizzazione dei fullereni

• Funzionalizzazione dei nanotubi di carbonio e del grafene

Polimeri semiconduttori

• Sintesi di omopolimeri e copolimeri semiconduttori

• Bandgap engineering di polimeri semiconduttori

• Strutture molecolari per OLED che emettono luce bianca o luce blu

• Celle solari polimeriche

Modalità di esame :

Esame orale

Criteri di valutazione :

La valutazione della preparazione dello studente si baserà sulla comprensione degli argomenti svolti, sull'acquisizione dei concetti proposti e sulla capacità di applicarli alla sintesi di polimeri e oligomeri semiconduttori e alla funzionalizzazione di nanostrutture di carbonio.

Testi di riferimento :

, . . . ,

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Saranno rese disponibili agli studenti le slides prima del corso.

MATERIALI PER L'ENERGETICA

(Titolare: Prof. VITO DI NOTO)

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00 CFU

Conoscenze e abilità da acquisire :

Il corso copre le principali famiglie di dispositivi per la conversione elettrochimica e lo stoccaggio di energia, incluse le batterie primarie e secondarie, celle a combustibile, celle fotovoltaiche e batterie di flusso redox. I fondamenti dei processi elettrochimici che avvengono agli elettrodi saranno discussi, con una dettagliata analisi delle interazioni tra la termodinamica, cinetica ed elettrochimica dei diversi fenomeni. Le principali proprietà degli elettroliti saranno studiate, con particolare riferimento alla conducibilità e al meccanismo di trasferimento di carica. In questo corso di metterò in evidenza le principali caratteristiche fisico-chimiche e l'applicabilità dei vari sistemi. Il corso si completa con la discussione delle principali famiglie di: (a) celle a combustibile, comprese PEMFC, PAFC, MCFC e SOFC, (b) batterie redox flusso, quali i sistemi convenzionali e ibridi, e (c) le cellule fotovoltaiche.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali

Contenuti :

Parte I. Batterie primarie e secondarie: materiali, metodi e dispositivi

• Elettroliti solidi: sintesi e proprietà .

• Materiali elettrodi convenzionali ed innovativi: sintesi e proprietà .

• Tecniche di caratterizzazione strutturale e morfologica.

• Tecniche di caratterizzazione elettrochimica ed elettrica *in situ* ed *ex situ*.

• Dispositivi e figure di merito.

• Batterie primarie: materiali, realizzazione di dispositivi e processi elettrochimici.

• Batterie secondarie: materiali, realizzazione di dispositivi e processi elettrochimici.

Parte II. Celle a combustibile ed elettrolizzatori

• Celle a combustibile: tipologie e caratteristiche.

• Elettrolizzatori: tipologie e caratteristiche.

• Dispositivi e figure di merito.

1. Elettroliti.

2. Elettrocatalizzatori.

3. Metodi di caratterizzazione strutturale e morfologica dei materiali.

4. Metodi di caratterizzazione elettrochimica ed elettrica *in situ* ed *ex situ*.

5. Assemblaggi membrana-elettrodo (MEA).

6. Celle singole e stacks.

Parte III. Supercapacitori: materiali, metodi e dispositivi

• Elettroliti: sintesi e proprietà .

• Materiali elettrochimici convenzionali ed innovativi: sintesi e proprietà.
• Tecniche di caratterizzazione elettrochimica ed elettrica • ed • in situ • ed • in situ •.
• Dispositivi e figure di merito.

Modalità di esame :

Orale

Testi di riferimento :

D. Berndt, Maintenance-free batteries. : A handbook of battery technology, 2
J. Larminie, A. Dicks, Fuel Cell Systems Explained. Chichester (UK): J. Wiley, 2

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Appunti di Lezione

MATERIALI SUPERCONDUTTORI

(Titolare: Dott. VINCENZO PALMIERI)

Periodo: I anno, 2 semestre
Indirizzo formativo: Corsi comuni
Tipologie didattiche: 48A; 6,00 CFU

Prerequisiti :

Fisica dello Stato Solido

Conoscenze e abilità da acquisire :

Lo scopo del corso è quello di fornire agli studenti un quadro generale della fenomenologia dei materiali superconduttori e le teorie che la governano.

Contenuti :

ELEMENTI DI TEORIA DELLA SUPERCONDUTTIVITA':

La conduzione elettrica nei metalli normali. Fenomenologia dei materiali superconduttori. Il modello a due fluidi. L'elettrodinamica di London. Elettrodinamica superconduttiva nello spazio di Fourier. Superconduttori di secondo tipo.

Termodinamica della transizione superconduttiva. La condensazione di Bose. Teoria microscopica della superconduttività. Lo stato fondamentale superconduttivo. Eccitazioni di quasiparticella. L'approccio idrodinamico alla superconduttività.

MATERIALI SUPERCONDUTTORI

La superconduttività nei metalli di transizione e le regole empiriche di Matthias. Composti B1 ed A15. L'alta TC ed il diboruro di magnesio. Superconduttività in radiofrequenza.

APPLICAZIONI INDUSTRIALI DELLA SUPERCONDUTTIVITA'

Magneti superconduttori, cuscinetti superconduttori, motori superconduttori. Cavità in radiofrequenza. Rivelatori di particelle.

Modalità di esame :

Orale

Criteri di valutazione :

La valutazione della preparazione degli studenti si baserà sulla comprensione degli argomenti svolti, l'acquisizione dei concetti e delle metodologie proposte e sulla capacità di applicarli in modo autonomo.

Testi di riferimento :

Lynton, E.A., Superconductivity. London: Chapman and Hall, 1969

Newhouse, V.L., Applied Superconductivity. New York: Academic Press, 1975

Vonsovskii, S.V., Izyumov, Yu.A., Kurmaev. E.Z., Superconductivity of Transition Metals, their Alloys and Compounds. Berlin: Springer-Verlag, 1982

METODI COMPUTAZIONALI IN SCIENZA DEI MATERIALI

(Titolare: Prof. FRANCESCO ANCILOTTO)

Periodo: I anno, 2 semestre
Indirizzo formativo: Corsi comuni
Tipologie didattiche: 48A; 6,00 CFU
Sede dell'insegnamento : Dipartimento di Scienze Chimiche.
Aule : Vedere gli orari dei corsi sul sito web del Corso di Studi.

Prerequisiti :

Fisica quantistica e dello stato solido, chimica fisica. Non sono richieste conoscenze di programmazione.

Conoscenze e abilità da acquisire :

Il corso si propone di fornire agli studenti le basi per la comprensione dei metodi computazionali usati nell'ambito della scienza dei materiali. Questo permetterà allo studente:

- di comprendere come i metodi computazionali possano essere usati per capire e predire il comportamento dei materiali e la relazione tra le loro proprietà e la struttura microscopica;
- di riconoscere le tecniche numeriche adatte per le diverse scale spaziali e temporali;
- di valutare le assunzioni e delle approssimazioni che stanno alla base delle diverse tecniche di calcolo.

Alla fine del corso lo studente sarà in grado di giudicare in maniera critica potenzialità e limiti dei metodi computazionali usati per lo studio dei materiali e di valutare la qualità delle simulazioni riportate in letteratura. Inoltre avrà raggiunto una maggiore comprensione della base molecolare del comportamento fisico. Infine avrà acquisito le nozioni di base per l'impiego di alcuni comuni pacchetti di calcolo.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Il corso verrà tenuto dal prof. Francesco Ancilotto e dalla prof. Alberta Ferrarini.

Il corso prevede lezioni d'aula ed esercitazioni al computer.

Contenuti :

Richiami di termodinamica e meccanica statistica classica.

Simulazioni di Dinamica Molecolare classica; integrazione numerica delle equazioni di Newton.

Metodi Monte-Carlo; algoritmo di Metropolis. Simulazioni in diversi ensemble statistici.

Aspetti comuni dei metodi di simulazione: condizioni iniziali e condizioni al contorno; calcolo delle interazioni tra particelle.

Calcolo di grandezze termodinamiche e di proprietà di trasporto.

Interazioni intermolecolari; campi di forze (force fields); modelli atomistici e 'coarse grained'.

Metodi variazionali per la soluzione di equazioni di Schrodinger.

Teoria di Hartree e Hartree-Fock.

Elementi di Teoria del Funzionale Densità (DFT).

Simulazioni "da principi primi".

I diversi metodi verranno discussi in relazione ad applicazioni a problemi di interesse per la scienza dei materiali (cristalli, superfici, soft matter, materiali nanostrutturati).

Il corso è integrato da esercitazioni al computer.

Nelle esercitazioni lo studente effettuerà semplici simulazioni usando pacchetti di calcolo impegnati nell'ambito dello studio dei materiali, e imparerà a interpretare e a presentare i risultati.

Modalità di esame :

Esame orale in cui lo studente discuterà un elaborato scritto, nel quale vengono riportati i risultati di semplici simulazioni numeriche.

Criteri di valutazione :

Comprensione dei principali concetti che stanno alla base di metodi per la simulazione numerica di proprietà della materia condensata.

Capacità di interpretare e presentare i risultati di simulazioni fatte al computer.

Testi di riferimento :

M.P.Allen, D.J.Tildesley, *Computer simulation of liquids*. Oxford: Oxford University Press, 1987

D.Frenkel, B.Smit, *Understanding Molecular Simulations*, 2nd edition. San Diego: Academic Press, 2002

H.J.Berendsen, *Simulating the Physical World: Hierarchical Modeling from Quantum Mechanics to Fluid Dynamics*. Cambridge:

Cambridge University Press, 2007

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Materiale didattico verrà fornito dai docenti.

METODI FISICI DI CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI E LABORATORIO

(Titolare: Prof. ALBERTO CARNERA)

Periodo: 1 anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 40A+12E+48L; 10,00 CFU

Sede dell'insegnamento : Dipartimento di Fisica

Aule : Vedere gli orari dei corsi sul sito web del Corso di Studi

Prerequisiti :

Il contenuto del corso presuppone che lo studente sia in possesso di solide competenze di fisica classica, di fisica quantistica e nozioni di base di fisica dello stato solido.

Questa preparazione è fornita dagli insegnamenti del corso di Laurea in Scienza dei Materiali e del corso di Laurea in Fisica.

Conoscenze e abilità da acquisire :

Lo studente imparerà a utilizzare varie interazioni della radiazione con la materia allo scopo di ottenere informazioni sulla composizione, sulla struttura cristallina e sulla distribuzione in sia in profondità che laterale delle specie chimiche presenti.

Alla fine del corso lo studente padroneggerà alcuni esempi di base di metodi spettroscopici e di microscopia utilizzati nello studio dei materiali e sarà in grado di discuterne criticamente i risultati.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali e sessioni di misura presso i laboratori del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

Contenuti :

Principi di base dell'interazione radiazione-materia.

La sezione d'urto

L'interazione coulombiana a due corpi ione-nucleo e la Spettrometria di Rutherford Backscattering.

La perdita di energia degli ioni nella materia.

La rivelazione di specie leggere: l'analisi con reazioni nucleari e la spettroscopia dei nuclei di rinculo.

La spettrometria di massa di ioni secondari: il fenomeno dello sputtering, gli spettrometri di massa, la quantificazione dei risultati.

La diffrazione a raggi X ad alta risoluzione da materiali cristallini.

La teoria cinematica e la teoria dinamica.

Monocromatizzazione e collimazione dei raggi X.

L'intensità diffratta nello spazio reciproco.

La riflettività dei raggi X e le informazioni che se ne traggono.

Modalità di esame :

Esame orale

Criteria di valutazione :

Si valuterà la capacità dello studente di comprendere e discutere criticamente le basi fisiche ed i possibili utilizzi di metodi fisici di analisi dei materiali.

Testi di riferimento :

P.F. Fewster, X-ray Scattering from Semiconductors. London: Imperial College Press, 2003

L.C Feldman and J.W.Mayer, Fundamentals of Surface and Thin Film Analysis. New York: North-Holland, 1986

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

A supporto dei testi consigliati saranno disponibili in rete le slides utilizzate nel corso delle lezioni.

NANOFABBRICAZIONE

(Titolare: Prof. FILIPPO ROMANATO)

Periodo: I anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00 CFU

Prerequisiti :

corsi del terzo anno di scienza dei materiali

Conoscenze e abilità da acquisire :

Conoscenze sulle principali tecniche litografiche, sui processi e sulle metodologie di nanofabbricazione.

Abilità nel correlare fenomeni e proprietà di materiali e di tecniche per l'ottenimento e lo sviluppo di tecnologie di nanofabbricazione.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

il corso prevede sia lezioni in aula sia visite presso le facilities alcune camere pulite di nanofabbricazione per partecipare a dimostrazioni pratiche di tecniche di processo

Contenuti :

Molti degli impressionanti progressi tecnici e scientifici degli ultime due decenni è basato sulla capacità di controllare i singoli fenomeni chimico-fisici a livello di pochi nanometri cioè alla scala di dimensioni alla quale avviene la maggior parte dei fenomeni naturali. Questo controllo è stato ottenuto sviluppando sistemi e processi di micro e nano fabbricazione per la realizzazione di dispositivi (anche denominati lab-on-chip) in grado di scambiare segnali (rivelazione e attuazione) con sistemi delle dimensioni di pochi micrometri coniando, di fatto, la definizione di nanotecnologia.

Il corso discuterà il processo di miniaturizzazione e il processo di riduzione di scala di molti fenomeni naturali che contraddistinguono il funzionamento dei nanodispositivi. Verranno presentati le principali tecnologie di nanofabbricazione e verranno presentati esempi di applicazione per la realizzazione di dispositivi ed esperimenti di nanoscienza. Dopo una generale distinzione tra processi top-down e bottom-up, verranno illustrate le tecnologie di litografia (UV, elettronica, X-ray, ionica, imprinting, interferenziale etc), processi di deposito (plasma assisted, in fase vapore o chimica, sol-gel etc.) e di sottrazione in fase gassosa (reactive ion etching, milling) o liquida (etching chimici). Verrà rivista la tecnologia di fabbricazione di dispositivi elettronici su base silicio.

Il corso si orienta a studenti in vista della tesi di laurea per la ampia correlazione tra fenomeni fisici, chimici, bio-chimici che i processi di nanofabbricazione richiedono in vista della realizzazione di nanostrutture e nanodispositivi. Vengono trattate tematiche di apertura verso le ricerche di nanoscienze e nanotecnologie industriali.

Il corso viene completato da delle visite in laboratorio di nanofabbricazione a Padova presso il laboratorio LaNN e a Trieste presso i laboratori di nanofabbricazione del CNR presso il sincrotrone Elettra. Durante queste visite si avranno dimostrazioni pratiche dei processi litografici trattati durante il corso in aula.

Syllabus: Nanofabbricazione :

Programma

Nanofabbricazione: concetti generali

Tipi di litografie: Top down e Bottom-up

Maskless maskless, litografia parallela seriali

Tipi di processi sottrattivi

Sviluppo di processi

Il ruolo della nanofabbricazione nei processi produttivi

L'approccio metodologico della nanofabbricazione: tematica interdisciplinare.

Litografie e tipi di dispositivi

Ottiche diffrattive,

Microfluidica,

Dispositivi elettronici, lab-on chip, etc.

Litografie 2D e 3D

Risoluzioni vs throughput

Litografie tridimensionali

Combinazioni di litografie

FIB

Resistless

Maskless lithography

Primo tipo di litografia

Resist

Introduzione ai resist: proprietà litografiche e di processo

tipi di resist

Processi sui resist

Spinning
Baking
Dose and development
Contrast , resolution ,
Litographic sensibility
Photochemical Quantum efficiency
Plasma etching resistance
Electron beam lithography
Electron sources
Vector scan
Beam blanking
Interaction with electron beam
Energy dependence
Proximity effects " dose correlation
Resolution limit
Exposure time
Stitching
Overlay
Single level- multi levels
Examples

GeneralitàTM sulle tecniche litografiche parallele
Replica di pattern
Maschere
Stampi

Litografia UV
Litografia UV di prossimitàTM
Litografia UV campo lontano

Litografia ottica
Principi generali
Diffrazione

Litografia interferenziale
Principio dell' "interferenza
ModalitàTM
ProprietàTM
Litografia X-ray
LTX di prossimitàTM
Litografia X-ray campo lontano
Deep X-ray
Next generation Deep EUV
Alignment and exposure
Several step processes
Nanoimprinting

Modalità di esame :

Approfondimento di una tematica, preparazione di una presentazione, discussione scritta.

Esame orale, presentazione dell'elaborato e verifica dell'apprendimento dei principali concetti di nano litografia.

Criteri di valutazione :

La valutazione della preparazione si baserà sulla comprensione degli argomenti svolti e sulla capacità di fare collegamenti fra diversi argomenti. Si valuteranno anche le relazioni scritte presentate sulla parte di esercitazione.

Testi di riferimento :

CONTENUTO NON PRESENTE

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

vengono dispensate le presentazioni d'aula e capitoli di libri o articoli sulle specifiche tecniche litografiche.

OTTICA DEI MATERIALI

(Titolare: Prof. MORENO MENEGHETTI)

Periodo: Il anno, 1 semestre
Indirizzo formativo: Corsi comuni
Tipologie didattiche: 48A; 6,00 CFU

PROVA FINALE

(Titolare: da definire)

Periodo: Il anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni
Tipologie didattiche: ; 38,00 CFU

Prerequisiti :

CONTENUTO NON PRESENTE

Conoscenze e abilità da acquisire :

CONTENUTO NON PRESENTE

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

CONTENUTO NON PRESENTE

Contenuti :

CONTENUTO NON PRESENTE

Modalità di esame :

CONTENUTO NON PRESENTE

Criteri di valutazione :

CONTENUTO NON PRESENTE

Testi di riferimento :

CONTENUTO NON PRESENTE

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

CONTENUTO NON PRESENTE

STRUTTURA E DINAMICA DELLE SUPERFICI

(Titolare: Prof. MAURO SAMBI)

Periodo: I anno, 2 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 48A; 6,00 CFU

Sede dell'insegnamento : Dipartimento di Scienze Chimiche

Aule : Vedere gli orari dei corsi sul sito web del Corso di Studi

Prerequisiti :

Corsi della Laurea in Scienza dei Materiali, con particolare riferimento ai contenuti dei corsi di Fisica 2, Chimica Fisica 2, Chimica Inorganica e dello Stato Solido, Struttura dei Solidi, Fisica dello Stato Solido.

Conoscenze e abilità da acquisire :

Il corso fornisce le basi per una comprensione del ruolo delle superfici nel determinare le proprietà dei materiali e delle nanostrutture, con particolare riferimento alla produzione di aggregati funzionali supportati su superfici inorganiche. Saranno introdotte le necessarie nozioni di chimica e struttura delle superfici e verranno considerati i fattori termodinamici e cinetici che possono favorire od ostacolare l'auto-organizzazione atomica e molecolare di superficie. Si considereranno quindi le principali classi di strutture bidimensionali self-assembled supportate, i relativi metodi di preparazione e le principali tecniche di caratterizzazione morfologica, strutturale, elettronica e funzionale degli aggregati. Verranno approfondite le tecniche di caratterizzazione strutturale di superficie che fanno uso di luce di sincrotrone.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Didattica frontale.

Contenuti :

Termodinamica delle superfici - energia libera superficiale e sua minimizzazione. Struttura delle superfici e relativa nomenclatura. Microscopie a scansione di sonda: STM e AFM. Cinetica delle superfici e teoria della nucleazione. Self-assembly inorganico: tecniche di crescita di quantum dots e quantum wires ordinati e monodispersi su superfici. Diffrazione di elettroni a bassa e ad alta energia. Self-assembly organico in due dimensioni (2D): interazioni overlayer-substrato e intra-overlayer. Adsorbimento e desorbimento. Temperature Programmed Desorption. Strutture supramolecolari vs strutture covalenti. Strutture supramolecolari di superficie a ponti a idrogeno. Network nanoporosi e sistemi host-guest bidimensionali. Strutture supramolecolari basate sulla coordinazione di metalli. Strutture supramolecolari basate sulle interazioni di van der Waals. Chiralità in 2D: riconoscimento chirale statico (lock and key) e dinamico. Molecole prochirali su superfici. Replicazione chirale in 2D. La luce di sincrotrone: produzione e proprietà. Dall'anello di accumulazione alle beamlines: elementi ottici. Tecniche sperimentali: fotoemissione e assorbimento di raggi x.

Modalità di esame :

Prova orale.

Criteri di valutazione :

Criteri di valutazione della prova orale sono la capacità di esposizione di un argomento a scelta, il rigore quantitativo nelle dimostrazioni, il grado di approfondimento degli argomenti, la capacità di istituire nessi tra argomenti diversi trattati nel corso.

Testi di riferimento :

K. Kolasinski, Surface Science. : John Wiley & Sons, 2012

G. Somorjai, Y. Li, Introduction to Surface Chemistry & Catalysis. : John Wiley & Sons, 2010

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Appunti e presentazioni powerpoint di lezione, articoli e review indicati dal docente.

TECNOLOGIA DEI MATERIALI

(Titolare: Prof. AMEDEO MADDALENA) - Mutuato da:

Periodo: Il anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: 40A+10E; 6,00 CFU

Sede dell'insegnamento : Dipartimento di Ingegneria Meccanica - Sezione Materiali

Aule : Il corso sarà attivato a partire dall' a.a. 2009/2010

Prerequisiti :

Conoscenze di base di meccanica e chimica dei materiali. Conoscenze di base dell'algebra delle matrici.

Conoscenze e abilità da acquisire :

Conoscenza delle tecnologie di fabbricazione dei materiali compositi a matrice polimerica e ceramica e delle fibre impiegate nella loro produzione. Capacità di calcolare le prestazioni meccaniche dei materiali compositi a partire dalle caratteristiche dei costituenti.

Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali, con esercizi numerici svolti dagli studenti. Esperienze su campioni di materiali.

Contenuti :

Micromeccanica della lamina unidirezionale. Rigidità della lamina unidirezionale. Proprietà di una lamina in un sistema di riferimento ruotato . Compositi con particelle e fibre corte. Calcolo delle tensioni e deformazioni nei laminati. Teoria elastica generalizzata per i laminati con accoppiamento. Effetti Igrotermici. Resistenza dei compositi unidirezionali. Resistenza di una lamina con tensioni e taglio. Criteri di resistenza e loro rappresentazione in 3D. Fratture multiple nei laminati. Proprietà dei materiali sandwich. Introduzione alla fatica nei materiali compositi. Curve S-logN per la lamina unidirezionale e per i laminati.

Fabbricazione e caratteristiche di fibre di vetro, carbonio, aramidiche, carburo di silicio, boro, allumina. Principali matrici polimeriche .

Compositi a matrice ceramica. Principali processi di fabbricazione.

Modalità di esame :

Esame orale

Criteri di valutazione :

Viene valutata:

-la conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti e dei meccanismi che determinano il comportamento dei materiali compositi.

-la conoscenza delle procedure di calcolo delle prestazioni dei materiali compositi.

-la conoscenza delle principali tecnologie di fabbricazione con materiali compositi.

-la capacità di applicare le conoscenze acquisite a semplici problemi reali.

Testi di riferimento :

CONTENUTO NON PRESENTE

Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

I materiali di studio sono:

-appunti delle lezioni

TIROCINIO FORMATIVO

(Titolare: Prof. MICHELE MAGGINI)

Periodo: Il anno, 1 semestre

Indirizzo formativo: Corsi comuni

Tipologie didattiche: ; 3,00 CFU

Curriculum: Corsi opzionali
