



### FISICA DELLO STATO SOLIDO I

<b>Anno immatricolazione</b>	2020/2021
<b>Anno offerta</b>	2021/2022
<b>Normativa</b>	DM270
<b>SSD</b>	FIS/03 (FISICA DELLA MATERIA)
<b>Dipartimento</b>	DIPARTIMENTO DI FISICA
<b>Corso di studio</b>	SCIENZE FISICHE
<b>Curriculum</b>	Fisica delle tecnologie quantistiche
<b>Anno di corso</b>	2°
<b>Periodo didattico</b>	Primo Semestre (04/10/2021 - 19/01/2022)
<b>Crediti</b>	6
<b>Ore</b>	60 ore di attività frontale
<b>Lingua insegnamento</b>	Italiano
<b>Tipo esame</b>	ORALE
<b>Docente</b>	ANDREANI LUCIO (titolare) - 6 CFU
<b>Prerequisiti</b>	<p>Il corso presuppone nozioni di fisica quantistica come fornite nei corsi di fisica moderna, meccanica quantistica, struttura della materia del triennio. Presuppone inoltre la conoscenza dell'elettromagnetismo classico e dell'ottica come forniti abitualmente dai corsi del secondo anno di fisica. Possono essere utili nozioni di meccanica statistica di base (funzioni termodinamiche, statistiche classiche e quantistiche, funzione di partizione) che comunque vengono introdotte nel corso prima di essere utilizzate. Per la parte numerica non sono richiesti prerequisiti, sono utili nozioni base di Linux come fornite dal corso di Informatica per la fisica.</p>
<b>Obiettivi formativi</b>	<p>a) Conoscenza e comprensione - Il corso permetterà allo studente di apprendere i concetti e fenomeni di base relativi alla fisica dello stato solido attraverso descrizioni fenomenologiche, trattazioni teoriche ed esempi. Lo studente conoscerà i fenomeni principali relativi alle proprietà degli elettroni nei solidi, alle vibrazioni reticolari classiche e</p>

quantizzate (fononi), alle proprietà ottiche, ai semiconduttori, ai metodi di misura delle varie proprietà fisiche. Sarà inoltre in grado di comprendere e analizzare i diagrammi con cui vengono usualmente riportate le proprietà fisiche dei solidi, quali (a titolo di esempio) le bande di energia, le superfici di Fermi, le dispersioni dei fononi, gli spettri di assorbimento ottico, il piegamento delle bande nella giunzione p-n.

b) Conoscenza e capacità di comprensione applicate - Lo studente sarà in grado di applicare i concetti appresi alla comprensione di proprietà fisiche dei solidi, ad esempio la stima di ordini di grandezza e il calcolo di quantità fisiche quali il calore specifico, la conducibilità elettrica, il gap di energia, le frequenze vibrazionali, il coefficiente di assorbimento, la densità di portatori liberi. Sarà poi in grado di valutare quali quantità fisiche possono venire calcolate e/o misurate.

Tramite un tutorial numerico sul metodo dello pseudopotenziale sarà in grado di calcolare le bande di energia di vari semiconduttori tetraedrici; avrà così acquisito un esempio di metodologia di calcolo tipica della fisica dei solidi, in ambiente Linux. Il docente fornirà esempi di codici Python relativi ad aspetti discussi nelle lezioni, e in caso di interesse degli studenti, sarà lieto di organizzare altre sessioni numeriche dedicate e/o di introdurre strumenti di lavoro quali i notebook.

c) Autonomia di giudizio - Lo studente sarà in grado di orientarsi nel campo della fisica dello stato solido di base, valutando quali sono i fenomeni e i materiali più interessanti dal punto di vista fondamentale e più importanti dal punto di vista applicativo-tecnologico. Potrà distinguere, ad esempio, quali materiali sono isolanti, semiconduttori o metalli conoscendo la struttura cristallina e/o le bande di energia; ovvero potrà determinare quali materiali possiedono solo fononi acustici o anche fononi ottici a partire dalla struttura del reticolo cristallino. Tramite le ultime lezioni, dedicate alle impurezze, alle proprietà di superficie, alle celle solari, potrà apprezzare l'importanza della fisica dei solidi nello sviluppo delle tecnologie per l'elettronica e per il fotovoltaico.

d) Abilità comunicative – Lo studente sarà in grado di descrivere vari argomenti di fisica dei solidi in un linguaggio fisico, che vada oltre le derivazioni matematiche. Durante il corso vengono infatti organizzate sessioni di riepilogo che abitano gli studenti a raccontare gli argomenti del corso a voce, senza equazioni, ponendo l'accento sulle proprietà fisiche.

e) Capacità di apprendere – Lo studente sarà introdotto ad alcuni fra i libri di testo più conosciuti nel campo e sarà in grado di studiarli autonomamente, partendo dalle lezioni frontali per approfondire gli argomenti trattati. Acquisirà quindi la capacità di studiare testi analoghi.

#### Programma e contenuti

Vengono trattati i concetti fondamentali della fisica dello stato solido di base, con particolare attenzione ai livelli degli elettroni nei solidi cristallini, alle vibrazioni reticolari, alle proprietà ottiche, alla fisica dei semiconduttori. Nel corso di Fisica dello Stato Solido I si assume l'approssimazione ad elettroni indipendenti e non vengono quindi trattati gli effetti di correlazione (che sono oggetto del corso di Fisica dello

Stato Solido II). Gli argomenti trattati comprendono: elettroni liberi nei metalli, teorie di Drude e Sommerfeld; reticoli cristallini e diffrazione, teorema di Bloch, elettroni e lacune; classificazione dei solidi e legame chimico; bande di energia, metodi di calcolo e di misura, superfici di Fermi, elettroni in campo magnetico; vibrazioni reticolari e fononi; proprietà ottiche degli isolanti e dei semiconduttori, funzione dielettrica complessa, transizioni interbanda, gap diretto e indiretto; eccitoni, impurezze, proprietà ottiche dei fononi; semiconduttori omogenei e inhomogenei, deriva e diffusione, giunzione p-n, strutture di superficie, celle solari (argomento monografico, in linea con l'obiettivo no.7 dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile). La presentazione dei concetti e metodi teorici sarà completata da esempi fenomenologici, dall'illustrazione delle principali tecniche sperimentali per la misura delle quantità fisiche, da esercitazioni numeriche e computazionali.

#### Metodi didattici

IN CONDIZIONI DI NORMALE DIDATTICA IN PRESENZA: Lezioni frontali alla lavagna con slide di appoggio, completate da qualche esercitazione e visita ai laboratori. Durante il corso vengono organizzate sessioni di riepilogo/discussione e almeno una esercitazione numerica in sala computer. Vengono inoltre proposti alcuni homework, discussi poi in classe, per abituare gli studenti al calcolo di grandezze fisiche ricorrenti in fisica dei solidi e per promuovere la discussione.

IN CONDIZIONI DI DIDATTICA MISTA IN PRESENZA/ONLINE, OPPURE DI DIDATTICA INTERAMENTE ONLINE A CAUSA DI EMERGENZA CORONAVIRUS: Le lezioni verranno tenute online mediante piattaforma Zoom, utilizzando slides e/o note con tavoletta grafica. In caso di didattica mista in presenza/online, le lezioni verranno tenute in aula, proiettate sullo schermo e simultaneamente trasmesse online. Le lezioni saranno registrate e rese disponibili su Kiro assieme al materiale didattico (slide e/o videoappunti). Le esercitazioni numeriche si terranno online, gli studenti potranno seguire in maniera interattiva dal proprio computer utilizzando Linux oppure installando una Virtual Machine già predisposta e testata nel precedente anno accademico.

Sono disponibili le lezioni video-registrate del corso (in inglese) sulla piattaforma Kiro.

L'insegnamento è English-friendly:

- 1) Il materiale didattico è in inglese (libri di testo, dispense, slides.);
- 2) L'esame può essere sostenuto in inglese, su richiesta dello studente;
- 3) Il docente è disponibile a tenere parte delle lezioni (o tutte) in inglese, previo accordo con gli studenti.

#### Testi di riferimento

N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, Solid State Physics (Holt-Rinehart, 1976).  
G. Grosso and G. Pastori Parravicini, Solid State Physics (Academic Press, 2000; 2nd ed., 2014).

P.Y. Yu, M. Cardona, Fundamentals of Semiconductors: Physics and Material Properties, 4rd edition (Springer, 2010).

J. Nelson, The Physics of Solar Cells (Imperial College Press, London, 2003).

#### Modalità verifica apprendimento

Esame orale, consistente in un colloquio sugli argomenti del corso (via Zoom o Skype se necessario). Al termine del corso viene fornito un

programma dettagliato, specificando quali argomenti sono appena accennati o opzionali. Nella prova di esame NON VIENE RICHIESTO di ripetere le derivazioni matematiche presentate nelle lezioni (cosa impossibile, o che richiederebbe un tempo di preparazione inutilmente lungo). Viene piuttosto richiesto di illustrare gli argomenti principali del corso mettendo l'accento sulle proprietà fisiche, sui metodi sperimentali per misurare le varie grandezze, sugli andamenti qualitativi, sui collegamenti fra i vari capitoli. Obiettivo principale della prova di esame è di verificare che lo studente abbia acquisito conoscenza, comprensione, autonomia secondo gli obiettivi formativi su esposti. Avendo seguito attivamente le lezioni, il docente si attende che l'esame possa essere preparato in periodo medio di 2-3 settimane. Riordinare gli appunti dopo ciascuna lezione è un ottimo metodo per facilitare la preparazione dell'esame.  
The exam may be held in English, if so requested.

#### Altre informazioni

Le video-registrazioni delle lezioni dell'a.a. 2015/2016 (in inglese) sono disponibili su Kiro.

#### Obiettivi Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile

[\\$lbl\\_legenda\\_sviluppo\\_sostenibile](#)