



### FISICA DELLO STATO SOLIDO II

<b>Anno immatricolazione</b>	2019/2020
<b>Anno offerta</b>	2020/2021
<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 della materia
<b>Anno di corso</b>	2°
<b>Periodo didattico</b>	Secondo Semestre (01/03/2021 - 11/06/2021)
<b>Crediti</b>	6
<b>Ore</b>	48 ore di attività frontale
<b>Lingua insegnamento</b>	Italiano
<b>Tipo esame</b>	ORALE
<b>Docente</b>	ANDREANI LUCIO (titolare) - 4 CFU COCOCCIONI MATTEO - 2 CFU
<b>Prerequisiti</b>	Il corso richiede conoscenze di base di meccanica quantistica, elettromagnetismo, ottica, struttura della materia, tipicamente apprese nel triennio di fisica. Sono utili conoscenze di base di fisica dei solidi, come fornite dal corso di Fisica dello Stato Solido I o equivalenti. Tuttavia, gli studenti interessati di altre aree (ad esempio fisica teorica o fisica delle tecnologie quantistiche) possono seguire il corso II e recuperare solo pochi argomenti necessari del corso I.
<b>Obiettivi formativi</b>	a) Conoscenza e comprensione – Il corso porterà lo studente ad apprendere i concetti e fenomeni di base relativi alla fisica dello stato solido avanzato, comprendente gli effetti di correlazione che vanno oltre l'approssimazione a singola particella/campo medio e di singolo determinante di Slater per sistemi a molti elettroni. Lo studente acquisterà familiarità con i concetti di screening e di eccitazioni elementari nei solidi (plasmoni, fononi, eccitoni, polaritoni.), con le loro

manifestazioni fenomenologiche. Sarà inoltre esposto a campi di ricerca e alle relative tecniche investigative molto attuali (fisica computazionale dei solidi basata sulla density-functional theory, plasmoni di superficie, cristalli fotonici, sistemi correlati descritti dai modelli di Hubbard e di Anderson, isolanti di Mott, superconduttività) anche al fine di individuare quelli a lui più congeniali per la ricerca e per l'argomento di tesi. Alcuni fra questi argomenti, con particolare riguardo ai sistemi fortemente correlati, sono di interesse anche per la fisica teorica.

b) Conoscenza e capacità di comprensione applicate – Lo studente sarà in grado di valutare l'importanza degli effetti di correlazione e di decidere quali approcci sono adatti per una descrizione avanzata della struttura elettronica, delle proprietà ottiche e di trasporto dei solidi. Sarà in grado di utilizzare modelli semplici ove possibile (ad esempio il modello di Thomas-Fermi per lo screening, il modello di Drude per l'elettrodinamica dei metalli, la relaxation-time approximation per il trasporto), conoscendone le limitazioni. Saprà descrivere diversi tipi di eccitazioni elementari, sia dal punto di vista della teoria che della fenomenologia. Saprà utilizzare il formalismo di seconda quantizzazione per gli operatori fermionici. Saprà inoltre impostare semplici calcoli di struttura elettronica (basati sulla DFT) sulle principali famiglie di materiali (metalli, semiconduttori, isolanti, ecc) e valutarne il risultato in base ad una buona conoscenza delle prerogative e dei limiti del metodo impiegato e delle relative approssimazioni. Saprà utilizzare pacchetti software in ambiente Linux, anche basati su Python.

c) Autonomia di giudizio - Lo studente sarà in grado di orientarsi nel campo della fisica dello stato solido avanzata, valutando i fenomeni più interessanti e gli approcci teorici più appropriati per descrivere le proprietà fisiche di vari tipi di solidi complessi. Sarà in grado di inquadrare settori di ricerca molto diversi (fisica computazionale, plasmonica, fotonica, trasporto, sistemi correlati, superconduttività) valutandone l'interesse e l'importanza.

d) Abilità comunicative – Lo studente acquisirà il linguaggio della fisica dei solidi avanzata, con particolare riguardo alla terminologia dei sistemi correlati (scambio, correlazione, screening statico e dinamico.). Sarà in grado di descrivere vari argomenti in un linguaggio fisico, prescindendo dalle derivazioni matematiche o dagli approcci numerici che in questo campo sono spesso assai complessi.

e) Capacità di apprendere – Lo studente sarà introdotto ad alcuni libri di testo e review di ricerca recenti e sarà in grado di studiarli autonomamente sulla base delle lezioni frontali tenute nel corso. Inoltre, tramite una sessione dedicata alla presentazione di papers, apprenderà a leggere e riassumere un articolo scientifico su un argomento di ricerca. Lo studente del corso sarà esposto a e saprà orientarsi tra temi di ricerca sia teorici/computazionali che sperimentali.

#### Programma e contenuti

Vengono trattati alcuni concetti avanzati di fisica dello stato solido, con particolare attenzione agli effetti di correlazione, alle eccitazioni elementari nei solidi, alla trattazione quantistica dei sistemi correlati e della superconduttività. Gli argomenti comprendono: (1) metodo

Hartree-Fock, effetti di scambio e correlazione, screening; (2) teoria del funzionale densità (DFT) – fondazioni teoriche; (3) implementazione della DFT, metodi moderni per il calcolo delle bande di energia, della struttura elettronica e di varie proprietà di interesse; (4) elettrodinamica nei metalli, teoria della risposta lineare, funzione dielettrica di Lindhard, plasmoni di bulk e di superficie; (5) eccitoni e polaritoni; (6) cristalli fotonici, confinamento elettronico e fotonico, nanocavità; (7) teoria del trasporto, equazione di Boltzmann ; (8) liquidi di Fermi, seconda quantizzazione, correlazioni nei solidi, transizione di Mott, modelli di Hubbard e di Anderson, effetto Kondo; (9) fononi nei metalli, interazione effettiva elettrone-elettrone e overscreening, Cooper pairing e superconduttività. 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 visite ai laboratori di ricerca, e da tutorial computazionali su vari aspetti legati al corso (applicazioni della DFT con Quantum Espresso, bande fotoniche in ambiente Python, modello di Hubbard).  
I video delle lezioni sono disponibili su Kiro.  
All or part of the lectures may be given in English, upon agreement with the students.

#### Metodi didattici

IN CONDIZIONI DI NORMALE DIDATTICA IN PRESENZA: Lezioni frontali, tenute alla lavagna e/o con slide a seconda degli argomenti. Il corso è completato da una o più visite ai laboratori di ricerca (plasmonica, cristalli fotonici, superconduttività) e da un tutorial computazionale per l'introduzione ai calcoli di struttura elettronica basati sulla DFT. Su richiesta degli studenti queste parti, ad es i tutorial computazionali, possono essere ampliate anche ad altri argomenti.

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). I tutorial numerici si terranno online, gli studenti potranno seguire in maniera interattiva dal proprio computer utilizzando Linux oppure installando una Virtual Machine. 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, 2nd edition (Academic Press, 2014).  
P.Y. Yu, M. Cardona, Fundamentals of Semiconductors: Physics and Material Properties, 4rd edition (Springer, 2010)  
C. Kittel, Introduction to Solid State Physics, 8th edition (John Wiley & Sons, 2005).

J. Kohanoff, Electronic Structure Calculations for Solids and Molecules – Theory and Computational Methods, (Cambridge University Press, 2006)  
G. F. Giuliani and G. Vignale, Quantum Theory of the Electron Liquid, (Cambridge University Press, 2005)  
Note e dispense.

**Modalità verifica apprendimento**

La prova di esame consiste in un colloquio (eventualmente via Zoom o Skype se necessario). Lo studente deve preparare i tre argomenti di base (1), (2), (4) e almeno tre argomenti scelti fra (3) e (5)-(9). L'esame inizia su un argomento scelto dallo studente, che deve essere bene inquadrato e presentato in un certo dettaglio. Nella prova di esame non è richiesto di ripetere le derivazioni matematiche presentate nel corso, si richiede invece una illustrazione fisica degli argomenti trattati, comprendente i principali concetti, andamenti, grafici, metodi di misura delle grandezze fisiche, capacità di orientamento fra diversi capitoli. The exam may be held in English, if so requested.

**Altre informazioni**

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

**Obiettivi Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile**

[\\$Ibl legenda sviluppo sostenibile](#)