



UNIVERSITÀ  
degli STUDI  
di CATANIA

**DIPARTIMENTO DI FISICA ED ASTRONOMIA**

**Corso di laurea magistrale in Fisica**

Anno accademico 2019/2020 - 1° anno - Curriculum PHYSICS APPLIED TO CULTURAL HERITAGE, ENVIRONMENT AND MEDICINE, Curriculum CONDENSED MATTER PHYSICS, Curriculum NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS e Curriculum THEORETICAL PHYSICS

---

## SOLID-STATE PHYSICS

FIS/03 - 6 CFU - 1° semestre

**Docente titolare dell'insegnamento**

**GIUSEPPE GIOACCHINO NEIL ANGILELLA**

**Email:** giuseppe.angilella@ct.infn.it

**Edificio / Indirizzo:** Dipartimento di Fisica e Astronomia, Stanza 233, Cittadella Universitaria (Via S. Sofia, 64)

**Telefono:** 095 378 5305

**Orario ricevimento:** Lunedì e Mercoledì 8:00-10:00. È gradito un e-mail di pre-avviso. Possibile anche il ricevimento in altri giorni e orari, da concordare per e-mail.

---

### OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso si propone di fornire concetti di base della fisica della materia nello stato solido, con riferimento ad esperimenti e teoria. Si tratterà in particolare della struttura cristallina, della struttura elettronica a bande, della dinamica reticolare, del trasporto elettronico e delle proprietà ottiche dei solidi. Alcune lezioni verranno dedicate ad argomenti avanzati selezionati (*in corsivo nel programma*) di interesse corrente nella fisica dello stato solido sia sperimentale che teorica.

*Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding).*

Comprensione critica degli sviluppi più avanzati della Fisica Moderna sia negli aspetti teorici che di laboratorio e delle loro interconnessioni, anche in campi interdisciplinari. Adeguata conoscenza degli strumenti matematici e informatici avanzati di uso corrente nei settori della ricerca di base e applicata. Notevole padronanza del metodo scientifico, e comprensione della natura e dei procedimenti della ricerca in Fisica. Durante il corso verranno presentati fatti sperimentali e modelli teorici delle proprietà dello stato solido della materia, con riferimento ad esperimenti moderni e interpretazioni teoriche innovative.

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

Capacità di identificare gli elementi essenziali di un fenomeno, in termini di ordine di grandezza e di livello di approssimazione necessario, ed essere in grado di effettuare le approssimazioni richieste. Capacità di utilizzare lo strumento della analogia per applicare soluzioni conosciute a problemi nuovi (*problem solving*). Nel presentare un fenomeno relativo alla fisica dello stato solido, si darà rilevanza alle grandezze maggiormente rilevanti, introducendo le altre come successive approssimazioni.

*Autonomia di giudizio (making judgements)*

Capacità di argomentare personali interpretazioni di fenomeni fisici, confrontandosi nell'ambito di gruppi di lavoro. Sviluppo del senso di responsabilità attraverso la scelta dei corsi opzionali e dell'argomento della tesi di laurea. Nell'esposizione degli argomenti, sia durante il corso che in occasione dell'esame, verranno presentati legami con altri corsi (principalmente, ma non soltanto, dell'indirizzo), alcuni dei quali opzionali, e con possibili argomenti di tesi di ricerca, di argomento sia sperimentale che teorico.

*Abilità comunicative (communication skills).*

Capacità di comunicare in lingua italiana e in lingua inglese nei settori avanzati della Fisica.

*Capacità di apprendimento (learning skills).*

Capacità di acquisire adeguati strumenti conoscitivi per l'aggiornamento continuo delle conoscenze. Capacità di accedere alla letteratura specializzata sia nel campo prescelto che in campi scientificamente vicini. Capacità di utilizzare banche dati e risorse bibliografiche e scientifiche per estrarne informazioni e spunti atti a meglio inquadrare e sviluppare il proprio lavoro di studio e di ricerca. Capacità di acquisire, attraverso lo studio autonomo, conoscenze in nuovi campi scientifici. Frequentemente verrà fatto riferimento ad articoli scientifici di rassegna e di ricerca.

## **MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO**

Lezioni frontali in aula.

## **PREREQUISITI RICHIESTI**

Meccanica quantistica di base, istituzioni di struttura della materia.

---

## **FREQUENZA LEZIONI**

Fortemente consigliata.

---

## **CONTENUTI DEL CORSO**

**Solidi cristallini.** Diffrazione da raggi X. Reticoli diretti in dimensione  $d \leq 3$ . Reticoli con base. Cella di Wigner-Seitz. Reticolo reciproco. Zone di Brillouin.

*Reticoli reali: difetti cristallini.*

*Altre fasi correlate della materia. Funzione di correlazione di Van Hove. Solidi amorfi, liquidi, superreticoli, quasicristalli.*

**Elettroni liberi.** Gas di elettroni liberi. Statistica di Fermi-Dirac, potenziale chimico, altri potenziali termodinamici (richiamo). Espansione di Sommerfeld. Calore specifico elettronico. Massa efficace. *Materiali a fermioni pesanti.*

**Elettroni in un reticolo cristallino.** *Modello di Kronig-Penney.* Teorema di Bloch. Momento cristallino e bande elettroniche. Punti speciali e diagramma a `spaghetti'. Hamiltoniana **k·p**.

**Hamiltoniane dipendenti da parametro.** Teoremi di Hellmann-Feynman e di Eppstein theorems. Fase e connessione di Berry. Applicazioni correnti alla fisica dello stato solido (polarizzazione elettrica, Microscopio a Forza Atomica: AFM, stati di Wannier come stati massimalmente localizzati).

**Correlazioni elettroniche.** Approssimazione di Hartree-Fock. Dalla approssimazione di Thomas-Fermi al teorema di Hohenberg-Kohn theorem. Teoria del funzionale della densità (DFT).

**Stabilità della materia.**

**Elettroni quasi-liberi.** Superfici di Fermi dei metalli. Densità degli stati. Transizioni topologiche elettroniche (singolarità di van Hove). Gap di banda. Metalli, semiconduttori, isolanti. Metodo dell'elettrone fortemente legato (LCAO). Altri metodi numerici (OPW, APW, KKR). Ancora sulla massa efficace. Sistemi 2D di particolare interesse: reticolo quadrato, grafene.

**Proprietà meccaniche dei solidi.** Energia di coesione. Proprietà elastiche dei solidi. Dinamica reticolare. Fononi nei solidi. Modelli di Einstein e di Debye: calore specifico reticolare. Effetti anarmonici.

**Proprietà di trasporto dei solidi.** Elettroni di Bloch. Conducibilità elettrica e termica dei metalli. Legge di Wiedemann-Franz. Modelli di Drude e di Sommerfeld. Effetto Hall. Effetto de Haas-van Alphen. Effetto Hall quantistico.

**Proprietà ottiche dei solidi.** Plasmoni.

**Fasi elettroniche con rottura di simmetria.**

- Ferromagnetismo. Modello di Stoner. Approssimazione di campo medio. Onde di spin.
- Antiferromagnetismo. Modello di Slater. Onde di densità di spin.
- Instabilità di Peierls. Onde di densità di carica. Solitoni.
- Instabilità di pairing: superconduttività. Fenomenologia. Teoria di Ginzburg-Landau. Accoppiamento elettrone-fonone. Teoria BCS. Effetto Josephson. Fluttuazioni superconduttive. Superconduttori ad alta  $T_c$  e altri superconduttori "esotici": cuprati,  $MgB_2$ , pnictidi, ...

**Isolanti topologici.**

---

## TESTI DI RIFERIMENTO

G. Grosso, G. Pastori Parravicini, *Solid state physics* (Oxford, Academic Press, 2014 : 2nd ed.)

Fuxiang Han, *A modern course in the quantum theory of solids* (Singapore, World Scientific, 2013)

J. Sólyom, *Fundamentals of the physics of solids* (Heidelberg, Springer, 2010) : 3 vols.

N. W. Ashcroft, N. D. Mermin, *Solid state physics* (Saunders, Philadelphia, 1976)

J. M. Ziman, *Principles of the theory of solids* (Cambridge University Press, Cambridge, 1965)

C. Kittel, *Quantum theory of solids* (New York, J. Wiley & Sons, 1963)

W. Jones, N. H. March, *Theoretical solid state physics* (New York, Dover, 1985) : 2 vols.

## **ALTRO MATERIALE DIDATTICO**

Non è disponibile materiale didattico che non sia già disponibile nei libri di testo consigliati.

---

## **PROGRAMMAZIONE DEL CORSO**

<b>Argomenti</b>	<b>Riferimenti testi</b>
1 Tutti gli argomenti elencati nel programma, al quale si rimanda.	

---

## **VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO**

### **MODALITÀ DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO**

Prova orale sugli argomenti del corso.

### **ESEMPI DI DOMANDE E/O ESERCIZI FREQUENTI**

Si rimanda al programma del corso.

---