



---

## FISICA DEI NANOSISTEMI

FIS/03 - 9 CFU - 1° semestre

### Docente titolare dell'insegnamento

#### GIUSEPPE FALCI

**Email:** gfalci@dmfci.unict.it

**Edificio / Indirizzo:** Dipartimento di Fisica e Astronomia, Città Universitaria, Ufficio 212

**Telefono:** 0953785337

**Orario ricevimento:** Lunedì 18:00-20:00 (ex DMFCI), Mercoledì 10:30-11:30 (DFA)

---

### OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso introduce principi e concetti fondamentali che governano la fisica microscopica e macroscopica dei nanosistemi e la funzionalità dei nuovi nanodispositivi coerenti. **La fisica dei nanosistemi tratta sistemi elettronici con una o più dimensioni dell'ordine dei nanometri.**

Il corso fornisce le nozioni di fisica di base, dagli elementi di **fisica quantistica** a cenni della **teoria dei solidi** e del **trasporto quantistico**, per la comprensione delle moderne **Tecnologie Quantistiche**, descrivendone poi principi e fenomeni che ne sono alla base, e le applicazioni. L'obiettivo è quello di fornire allo studente abilità e competenze che complementino quelle di un curriculum in microelettronica, come (a) familiarità con le opportunità offerte dalla nanoelettronica e dalle tecnologie quantistiche; (b) capacità di utilizzare la meccanica quantistica in differenti contesti della ICT e delle nanotecnologie e valutare le diverse tecnologie dei nanosistemi; (c) acquisire una base per elaborare idee e proposte personali.

Il corso è motivato dalle esigenze multidisciplinari dei diversi settori industriali **nel campo delle nanotecnologie**, e della crescita del **nuovo settore delle tecnologie quantistiche**, che possono offrire nuove opportunità di lavoro e specializzazione ai nostri laureati.

### PREREQUISITI RICHIESTI

Lo studente deve possedere gli elementi del linguaggio, ossia una buona conoscenza della fisica classica, una conoscenza introduttiva della fisica dei semiconduttori e una certa "affinità" verso la fisica.

I prerequisiti comprendono:

- Meccanica classica e termodinamica (Fisica 1).
- Elettromagnetismo classico (Fisica 2).
- Elementi di algebra e analisi matematica: spazi vettoriali, trasformate integrali
- Concetti elementari di fisica moderna e fisica dei semiconduttori (Dispositivi)

---

## FREQUENZA LEZIONI

Non obbligatoria, ma caldamente suggerita.

---

## CONTENUTI DEL CORSO

1. Solidi, nanosistemi e Meccanica Quantistica [1,5,8]

### **PARTE I: Meccanica Quantistica**

2. Fenomenologia del dualismo onda-particella [2,3,5,6]
3. Meccanica ondulatoria [3,5,6]
4. Alcuni problemi stazionari [3,5]
5. Meccanica Quantistica e applicazioni illustrative [3,5,6]
6. Metodi di approssimazione [3,5]

### **PARTE II: Fisica dello Stato Solido**

7. Sistemi a molte particelle [5,6]
8. Solidi cristallini [1,5]
9. Il solido di Bloch [1,5]
10. Trasporto semiclassico [1,5]

### **PARTE III: Nanostrutture**

11. Effetto tunnel nei solidi [5,6,8]
12. Tunneling incoerente ed effetti di charging [5,6,8]
13. Sistemi a dimensionalit`a ridotta [5,6]
14. Nanodispositivi (seminario)
15. Trasporto quantistico [4,5]
16. Computazione quantistica (seminario)

---

## TESTI DI RIFERIMENTO

- [1] Neil W. Ashcroft and N. David Mermin. Solid State Physics. Holt Saunders, 1976.
- [2] B.H. Bransden and C.J. Joachain. Physics of atoms and molecules. Prentice Hall, 1983.
- [3] C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, and F. Laloë. Quantum Mechanics - vol 1, volume 1. Wiley-Interscience Publication, 1977.
- [4] Datta. Electronic Transport in Mesoscopic Systems. University Press, 1995. Cambridge
- [5] G. Falci. Appunti del corso di fisica dei nanosistemi. 2013.
- [6] G.W. Hanson. Fundamentals of Nanoelectronics. Prentice Hall, 2007.
- [7] Kittel. Introduzione alla Fisica dello Stato Solido. Casa Editrice Ambrosiana, 2005.
- [8] Yehuda B. Band, Yshai Avishai-Quantum mechanics with applications to nanotechnology and information science, Academic Press (2013)

## ALTRO MATERIALE DIDATTICO

Materiale divulgativo di introduzione al corso viene fornito a richiesta per e-mail.

Materiale didattico (appunti, presentazioni, notebook dimostrativi, etc.) viene fornito tramite un link ad una cartella Dropbox da richiedere direttamente al docente.

---

## PROGRAMMAZIONE DEL CORSO

* Argomenti	Riferimenti testi
1 * Gas elettronico semiclassico	[1,5]
2 * Dualismo onda-particella	[2,3,5,6]
3 * Meccanica Quantistica e applicazioni illustrative	[3,5,6]
4 * Gas di Fermi, solidi cristallini, solido di Bloch e trasporto semiclassico	[1,5]
5 * Tunneling ed effetti di charging	[5,6,8]
6 * Sistemi a dimensionalità ridotta	[5,6]
7 * Trasporto quantistico	[4,5]
8 Tecnologie Quntistiche	[x]

\* Conoscenze minime irrinunciabili per il superamento dell'esame.

**N.B.** La conoscenza degli argomenti contrassegnati con l'asterisco è condizione necessaria ma non sufficiente per il superamento dell'esame. Rispondere in maniera sufficiente o anche più che sufficiente alle domande su tali argomenti non assicura, pertanto, il superamento dell'esame.

---

## VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

### MODALITÀ DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

- L'esame consiste di una prova scritta e di una eventuale prova orale.
- La prova scritta si svolge su sei quesiti, senza l'ausilio di testi o appunti. I primi tre quesiti sono semplici e vanno svolti in maniera corretta e completa per il superamento della prova. Gli altri tre quesiti determinano una valutazione preliminare, che va da 18 a 27/30.
- Si procede alla prova orale, se necessario (a giudizio del Docente). Essa comprende: (a) esposizione di un breve argomento a scelta del candidato; (b) esposizione di un argomento scelto dal candidato tra tre proposti, di diverso grado di difficoltà. Il superamento dell'esame dipende dalla prova (a) mentre la valutazione dipende dalla (b). L'esame orale prevede anzitutto domande sulla prova scritta. Chiarimenti di qualsiasi tipo su aspetti individuali della procedura d'esame saranno forniti **solo dopo la chiusura della sessione**.
- Il voto formulato alla fine dell'esame, non è una media né una somma di voti parziali, ma è ottenuto da una valutazione qualitativa dell'esame nel suo complesso.
- E' possibile, a richiesta dello studente e previo assenso del docente, sostituire l'orale con un elaborato. Anche in questo caso esso comprenderà una breve esposizione del tema, che determina il superamento della prova, e la presentazione dell'elaborato che determina il voto.
- Sono previste durante il corso due prove in itinere, che hanno un effetto non negativo sulla

valutazione finale.

### **PROVE IN ITINERE**

Le prove in itinere consistono ciascuna di quattro quesiti, di livello di difficoltà pari a quelli di esame, sul programma fino ad allora svolto. Le prove sono fissate con preavviso minimo (due o tre giorni) per non alterare il normale svolgimento delle altre lezioni del corso. Le prove possono essere svolte con l'ausilio di testi e appunti. L'impatto delle prove sul voto finale viene valutato sul complesso delle due, che se positivamente svolte determinano un ulteriore punto da aggiungere al voto della prova finale, ed eventualmente di approssimare all'intero successivo la votazione così ottenuta.

### **PROVE DI FINE CORSO**

Non ci sono prove di fine corso

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

E' a disposizione nel materiale didattico del corso una raccolta di esercizi di esame.

Durante la prova orale saranno formulate domande sulla prova scritta, e domande che, prendendo spunto dall'esposizione dell'argomento, possono spaziare su tutto il programma svolto.

L'elaborato sostitutivo dell'orale consiste in un calcolo, da effettuare generalmente con l'ausilio di software dedicato, su un argomento relativo al corso. Alcuni esempi sono i seguenti:

- Autovalori ed autovettori per potenziali scalari unidimensionali.
  - Moto di pacchetti d'onda unidimensionali in potenziali assegnati.
  - Calcolo di semplici strutture a bande: reticoli unidimensionali, quadrato o a nido d'api, cubico semplice.
  - Struttura a bande in cristalli fotonici e metamateriali.
  - Determinazione di correnti di tunneling mediante il metodo della transfer matrix.
  - Trasporto coerente in semplici reti quantistiche (di interesse come modelli di materiali per l'efficienza energetica).
  - Altri elaborati di interesse del candidato, se possono preludere ad un lavoro di tesi.
-