



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## ELETTRONICA DELLO STATO SOLIDO

### MASSIMO MACUCCI

|                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| Anno accademico | 2023/24                |
| CdS             | INGEGNERIA ELETTRONICA |
| Codice          | 195II                  |
| CFU             | 6                      |

|                                |            |         |     |  |
|--------------------------------|------------|---------|-----|--|
| Moduli                         | Settore/i  | Tipo    | Ore | Docente/i  |
| ELETTRONICA DELLO STATO SOLIDO | ING-INF/01 | LEZIONI | 60  | ELISABETTA DIMAGGIO<br>MASSIMO MACUCCI<br>MASSIMO PIOTTO |

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Gli studenti acquisiranno conoscenze sulla teoria, sui modelli e sul progetto di strutture e di dispositivi a semiconduttore di ultima generazione (ad esempio in scala submicrometrica e nanometrica) utilizzando la meccanica quantistica di base. Saranno discusse risoluzioni analitiche e numeriche di semplici casi di studio.

##### *Modalità di verifica delle conoscenze*

Durante l'esame orale lo studente deve essere in grado di dimostrare la propria conoscenza del materiale del corso e la sua capacità di applicarlo alla valutazione e selezione di materiali per applicazioni nell'ambito della nanoelettronica.

Metodi:

Esame orale

##### *Capacità*

Lo studente sarà in grado di capire modelli quantistici di semplici strutture micro e nanoelettroniche.

##### *Modalità di verifica delle capacità*

Attraverso le domande nell'esame orale.

##### *Comportamenti*

Lo studente svilupperà una mentalità idonea a comprendere ed eventualmente approfondire tematiche nel campo dell'elettronica fisica.

##### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Una verifica sarà condotta durante l'esame.

##### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

Nozioni di base di fisica e matematica (corsi del primo biennio di facoltà tecniche e scientifiche)

##### *Indicazioni metodologiche*

Il corso viene tenuto in italiano utilizzando slide che sono messe a disposizione dello studente tramite il sito e-learning. Le slide sono commentate e integrate con calcoli e precisazioni scritte a mano. Gli studenti possono usufruire del ricevimento e dell'indirizzo di posta elettronica dei docenti per chiarimenti tematici e organizzativi.

##### Programma (contenuti dell'insegnamento)

- [Argomenti propedeutici](#)
- [L'Equazione delle onde](#)
- [Lunghezza d'onda vs. posizione](#)



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- [Vibrazioni reticolari. Fononi](#)
- [L'equazione della diffusione](#)
- [La fisica classica e i fenomeni microscopici](#)
- [Critica dei concetti classici di materia e radiazione](#)
- [La quantizzazione della radiazione](#)
- [L'effetto fotoelettrico](#)
- [Esperienza di diffrazione con elettroni.](#)
- [Esperienza di Franck-Hertz](#)
- [Sintesi e ipotesi di De Broglie](#)
- [Il principio di indeterminazione](#)
- [Pacchetti di onde di De Broglie e principio di indeterminazione](#)
- [Definizione di sistema](#)
- [La definizione classica di stato di un sistema](#)
- [Nuova definizione dello stato del sistema](#)
- [Valor medio di una variabile dinamica](#)
- [Algebra degli operatori](#)
- [Autovalori e autofunzioni di un operatore](#)
- [La relazione di indeterminazione generalizzata](#)
- [Lo stato del sistema in funzione del tempo](#)
- [Risoluzione dell'equazione di Schrödinger](#)
- [Spazi di Hilbert](#)
- [Base ortonormale di autofunzioni](#)
- [Matrice associata a un operatore](#)
- [Variazione temporale del valor medio di variabili dinamiche](#)
- [Ancora sugli operatori Hermitiani](#)
- [Costanti del moto](#)
- [La densità di corrente di probabilità](#)
- [Equazione d'onda nello spazio dei momenti](#)
- [Risoluzione numerica dell'equazione di Schrödinger](#)
- [Algoritmo alle differenze finite nel dominio del tempo \(FDTD\)](#)
- [Algoritmo Split-Step Fourier](#)
- [Trasformazione di Legendre ed equazioni canoniche](#)
- [Parentesi di Poisson](#)
- [Il teorema di Liouville](#)
- [Il teorema di Emmy Noether](#)
- [Stati stazionari in sistemi monodimensionali](#)
- [Particella libera](#)
- [Buca di energia potenziale](#)
- [Buca di energia potenziale infinita](#)
- [Densità degli stati monodimensionale](#)
- [Soluzione numerica con il metodo delle matrici finite](#)
- [Particella in una buca di energia potenziale finita](#)
- [Buca di energia potenziale triangolare](#)
- [Buca parabolica ovvero oscillatore armonico quantistico](#)
- [Barriere di energia potenziale](#)
- [Matrici di trasmissione e di scattering](#)
- [Gradino di energia potenziale](#)
- [Propagazione a energia potenziale costante](#)
- [Barriera rettangolare di ampiezza](#)
- [Barriera impulsiva](#)
- [Barriera impulsiva periodica e teorema di Bloch](#)
- [Teorema del commutatore](#)
- [Teorema di Bloch](#)
- [Array di barriere rettangolari](#)
- [Semplici sistemi a due dimensioni](#)
- [Due particelle identiche in una scatola monodimensionale](#)
- [Particella in una scatola bidimensionale](#)
- [Gas bidimensionale di elettroni](#)
- [Espansione in serie di potenze di ovvero metodo WKB](#)
- [Formule di connessione](#)
- [Applicazioni del metodo WKB](#)
- [Buca di energia potenziale di forma qualsiasi](#)
- [Barriera di potenziale di forma qualsiasi](#)
- [Elettroni nei cristalli](#)
- [Reticolo diretto e reciproco](#)
- [Il principio di Pauli](#)
- [La necessità di introdurre un nuovo grado di libertà](#)
- [Il principio di esclusione di Pauli](#)
- [Modello dell'elettrone libero in un solido](#)



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- [Stima della profondità della buca di potenziale](#)
- [Statistiche classiche e quantiche](#)
- [Problema di occupazione](#)
- [Statistica canonica](#)
- [Statistica di Bose Einstein](#)
- [Statistica di Fermi](#)
- [Trattazione semiclassica del trasporto](#)
- [Quasi momento e massa efficace](#)
- [L'equazione del trasporto di Boltzmann](#)
- [L'approssimazione del tempo di rilassamento.](#)
- [Risoluzione approssimata della BTE](#)
- [Modelli quantistici di semplici dispositivi elettronici](#)
- [Nanofilo conduttore e quantizzazione della conduttanza](#)
- [Dispositivo MIM](#)
- [Calcolo della densità di stati](#)
- [Approssimazione di Simmons del coefficiente Tunnel](#)
- [Calcolo della corrente tunnel](#)

### Bibliografia e materiale didattico

Manuale "Elementi di Elettronica dello stato solido" Pisa University press.

Slide e altro materiale sul servizio di e-learning della Scuola di Ingegneria <https://elearn.ing.unipi.it>

Video e file pdf delle lezioni su <http://brahms.iet.unipi.it/ess>

### Indicazioni per non frequentanti

Tutte le lezioni sono disponibili su Teams o sul sito <http://brahms.iet.unipi.it>, ricevimenti con i docenti possono essere fissati per e-mail o per telefono.

### Modalità d'esame

L'esame è orale e consiste di tre domande sugli argomenti trattati nel corso. Il voto finale è la media dei voti ottenuti sulle tre domande. La durata media dell'esame è di 30 minuti.

### Altri riferimenti web

<https://elearn.ing.unipi.it>

*Ultimo aggiornamento 22/08/2023 17:08*