

## SYLLABUS DEL CORSO

### Quantum Electronics

2627-2-FSM02Q028

---

#### Obiettivi

Il corso si propone di fornire le nozioni fondamentali sulle interazioni tra portatori di carica e spin e la materia in dispositivi e sistemi elettronici. Gli stati elettronici di materiali e dispositivi saranno studiati attraverso la discussione delle loro architetture e la misurazione delle proprietà ottiche, elettroniche e magnetiche, al fine di comprendere le potenziali applicazioni dei materiali quantistici nelle tecnologie quantistiche. Durante il corso verranno date dimostrazioni sperimentali di alcuni fenomeni descritti durante le lezioni: come ad esempio: quantizzazione della conduttanza, magnetoresistenza gigante, sensori quantistici, miscoscopia elettornica di domini magnetici.

I risultati attesi al termine dell'insegnamento sono:

1. *Conoscenza e capacità di comprensione*

Gli studenti acquisiranno conoscenze nell'ambito dei materiali e dei fenomeni quantistici emergenti dal confinamento della materia lungo una o più direzioni nello spazio, e dei metodi per la preparazione e caratterizzazione di dispositivi che permettano di sfruttare tali fenomeni nell'elettronica per le tecnologie quantistiche.

2. *Conoscenza e capacità di comprensione applicate*

Competenze nell'ambito delle tecniche per la caratterizzazione di materiali e dei metodi per la realizzazione di dispositivi per la spintronica, sensoristica e computazione quantistica.

3. *Autonomia di giudizio*

Gli studenti acquisiranno capacità di giudizio nell'individuare le proprietà chiave dei materiali che permettono lo sviluppo di dispositivi avanzati e performanti sapendo distinguere potenzialità e limitazioni.

4. *Abilità comunicative*

Gli studenti acquisiranno la terminologia e il linguaggio necessari per saper descrivere le proprietà di materiali avanzati per la elettronica quantistica e dei metodi di preparazione e realizzazione di dispositivi in nanotecnologia.

### 5. Capacità di apprendere

Gli studenti acquisiranno gli strumenti che gli permetteranno di continuare lo studio in modo autonomo attraverso l'utilizzo di metodi di indagine per lo studio e la ricerca di materiali e dispositivi avanzati.

## Contenuti sintetici

- Introduzione: Elettronica per le moderne tecnologie quantistiche
- Trasporto quantistico in strutture a bassa dimensionalità
- Spintronica
- Funzionalità emergenti: magnetismo topologico
- Attività di Laboratorio

## Programma esteso

### INTRODUZIONE

• Dispositivi elettronici per le moderne tecnologie quantistiche. Panoramica dei prerequisiti del corso, contenuti delle lezioni, libri di testo/letteratura e metodi di valutazione. Richiami di concetti base di fisica dello stato solido e fisica dei semiconduttori.

### TRASPORTO QUANTISTICO

- Meccanismo di conduzione in sistemi a bassa dimensionalità. Resistore elastico. Regime lineare. Trasporto balistico, diffusivo e quasi-balistico.
- Formalismo generale per la conduttività. Resistenza di interfaccia. Due visioni della conduttività. Equazione di Boltzmann.
- Regole di progettazione per un nanotransistor efficiente. Conduttanza quantizzata. Contatto Quantistico di Punto (CQP). Formalismo di Buttiker-Landauer.
- Effetto Hall quantistico intero e frazionario. Grafene.
- Effetto tunnel coerente e incoerente in una doppia barriera.
- Transistor a singolo elettrone: teoria, funzionamento e applicazioni. Rilevamento della carica con QPC: elettrometro.

### METODI PER LA GENERAZIONE, RILEVAZIONE E MANIPOLAZIONE DI SPIN

- Spin in un punto quantico. Spettroscopia degli stati eccitati. Transizione S-T indotta da campo magnetico. Filtro di spin bipolare. Metodi di conversione da spin a carica.
- Non-demolizione quantistica con doppi punti quantici. Diagramma di stabilità della carica. Rilevamento della carica con doppi punti quantici.
- Spin in due doppi punti quantici. Blocco dello spin di Pauli. Meccanismi di decoerenza dello spin.
- Risonanza di spin elettronico. Metodi per la manipolazione a microonde, elettrica e ottica degli spin elettronici.
- Manipolazione ottica dello spin elettronico con centri NV nel diamante.

### DISPOSITIVI E APPLICAZIONI IN SPINTRONICA

- Teoria della conduzione nelle strutture a strati magnetici. Trasporto di spin attraverso interfacce.
- Effetti della magnetoresistenza: Magnetoresistenza anisotropica (AMR). Magnetoresistenza gigante (GMR). Magnetoresistenza a effetto tunnel.
- Giunzioni a tunnel magnetico.
- Rilevamento e manipolazione elettrica dello spin con valvole di spin laterali.
- Memoria magnetica ad accesso casuale universale (MRAM).
- Coppia di trasferimento di spin (STT). Inversione della magnetizzazione con nanofili.
- Transistor di spin Datta-Das.

## **FUNZIONALITÀ EMERGENTI: MAGNETISMO TOPOLOGICO**

- Topologia nella materia condensata e conduzione chirale.
- Effetti magnetoelettrici topologici e spintronica topologica.
- Domini magnetici e skyrmioni di tipo Néel e di tipo Bloch.
- Esperienze di laboratorio per la visualizzazione microscopica di domini magnetici.

## **Prerequisiti**

Corsi sui concetti di base della meccanica quantistica, della fisica dei semiconduttori e della fisica dello stato solido (o equivalenti).

## **Modalità didattica**

22 lezioni da 2 ore in presenza (didattica Erogativa)

12 ore per esperienze di laboratorio (didattica interattiva).

Le lezioni teoriche frontali e di esercitazione saranno svolte con l'ausilio di presentazioni e/o lavagna.

## **Materiale didattico**

1. Datta S. (2013) Electronic transport in mesoscopic systems, Cambridge University Press
2. T. Shinjo (2009), Nanomagnetism and Spintronics, Elsevier
3. J. Stohr and H.C. Siegmann (2006) Magnetism: from fundamentals to nanoscale dynamics. Springer, Berlin
4. Jiadong Zang, Vincent Cros, Axel Hoffmann, Topology in Magnetism, Springer Nature Switzerland AG 2018

## **Periodo di erogazione dell'insegnamento**

Primo semestre (da settembre a gennaio)

## **Modalità di verifica del profitto e valutazione**

Le conoscenze degli studenti verranno valutate attraverso una prova orale incentrata sugli argomenti trattati durante il corso con presentazione di analisi quantitative, equazioni, grafici e schemi.

La competenza e i criteri di valutazione si baseranno sulle conoscenze e sulle capacità comunicative acquisite nell'ambito degli argomenti studiati. Non sono previste prove parziali.

## **Orario di ricevimento**

Dal lunedì al venerdì in qualsiasi orario di lavoro (è opportuno concordare appuntamento con il docente tramite email).

## **Sustainable Development Goals**

ISTRUZIONE DI QUALITÀ | IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE

---