UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

# SYLLABUS DEL CORSO

## Quantum Materials

**2526-1-F1703Q044**

### Obiettivi

Un materiale quantistico è un materiale le cui proprietà elettroniche o magnetiche sono originate da effetti quantomeccanici non banali, per i quali approssimazioni semi-classiche, che non considerano il carattere completo del sistema, non offrono una descrizione soddisfacente delle peculiarità osservate.

Il corso presenta i principi fisici alla base delle proprietà dei materiali quantistici, consentendo così di comprendere questi materiali in dettaglio. Verranno trattati in dettaglio diversi sistemi di materiali: dai superconduttori, il prototipo di materiale quantistico, all'effetto hall quantistico intero e agli isolanti topologici, che mostrano una stretta connessione delle loro proprietà elettroniche con invarianti derivati dalla topologia. Per ciascuna classe di materiali verranno brevemente discusse alcune applicazioni tecnologiche.

Obiettivi
Conoscenza e comprensione:
• Conoscenza dettagliata dei concetti e degli approcci di base nella ricerca sui materiali quantistici.
• Comprendere i fenomeni emergenti nei materiali quantistici
• Comprendere gli effetti della topologia e delle simmetrie sulle proprietà elettroniche quantistiche dei materiali

Applicazione della conoscenza:
• Acquisizione della capacità di applicare le nozioni teoriche apprese nel corso alla descrizione efficace di materiali quantistici.

Competenze comunicative:
• Acquisizione di capacità comunicative verbali e scritte in concetti avanzati di fisica quantistica.

Elaborazione di giudizi:
• Lo studente acquisirà la competenza di giudicare quali fenomeni ed osservabili per un dato materiale possano essere ricondotti alla sua natura quantistisca emergente.

Competenze di apprendimento

• Lo studente è in grado di estendere quanto appreso nelle lezioni a casi di studio non trattati durante il corso. In particolare è in grado di gestire autonomamente la vasta letteratura dedicata ai materiali quantistici.

## Contenuti sintetici

• Introduzione: Materiali quantistici per tecnologie quantistiche.
• Teoria dei Superconduttori di Ginzburg Landau e BCS
• Effetto Hall quantistico intero
• Topologia e fase Berry
• Invarianti topologici e proprietà fisiche; Making judgements; Communication skills; Learning skills

## Programma esteso

**1) Introduzione:**
• i materiali quantistici come strumento per le moderne tecnologie quantistiche.
• Panoramica dei prerequisiti del corso, dei contenuti delle lezioni, dei libri di testo/letteratura e dei metodi di valutazione.
**2) Superconduttori:**
• Interazione elettrone-fonone e coppie di Cooper
• Teoria di Ginzburg-Landau
• Teoria BCS della superconduttività
• Effetto Josephson e SQUIDS
• Q-Bit quantistici superconduttori
**3) Effetto Hall quantistico intero:**
• Livelli Landau
• Teoria di Laughlin dell'effetto Hall quantistico
• Perché 2D, disordine e localizzazione sono importanti
• Teoria della percolazione semiclassica
• Stati del bordo IQHE
**4) Topologia:**
• Fase di Berry, connessione e curvatura
• Fase di Berry per gli elettroni nei cristalli
• Applicazioni della fase di Berry: effetto Aharonov-Bohm, polarizzazione dei cristalli, elettroni cristallini in campo elettrico uniforme
• Numeri Chern
• Simmetrie di inversione temporale e di inversione: simmetria spezzata in Honeycomb Lattice
• IQHE senza livelli Landau
• Invarianti topologiche
• Superconduttori topologici

## Prerequisiti

Concetti di meccanica quantistica e fisica dello stato solido.

## Modalità didattica

Lezioni erogative frontali alla lavagna e/o slides.
-46 ore di lezione erogate interamente in presenza.
L'insegnamento verrà erogato interamente in lingua inglese.

## Materiale didattico

Le diapositive saranno messe a disposizione degli studenti attraverso la presente piattaforma e-learning.

Testi principali:
• Efthimios Kaxiras & John D. Joannopoulos (2019) Quantum Theory of Materials, Cambridge University Press. doi 10.1017/9781139030809:
• Michael Tinkham, Introduction to superconductivity, Dover ISBN 0486435032

Per approfondimenti:
• Girvin, S., & Yang, K. (2019). Modern Condensed Matter Physics. Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316480649
• P. G. De Gennes (1999) Superconductivity of Metals and Alloys, Westview Press, ISBN 0-7382-0101-4
• Raffaele Resta, Geometry and Topology in Electronic Structure Theory, Notes, http://www-dft.ts.infn.it/~resta/gtse/draft.pdf
• A.Bernevig with T. L. Hughes, Topological Insulators and Topological Superconductors, Princeton University Press (2013).
• János K. Asbóth, László Oroszlány, András Pályi (2016). A Short Course on Topological Insulators: Band Structure and Edge States in One and Two Dimensions. Springer

Articoli scientifici
Diversi argomenti del corso sono anche ben presentati in articoli scientifici, come ad esempio:
• Von Klitzing K (1986) The quantized Hall effect, Reviews of Modern Physics 58, 519
• R. B. Laughlin (1981) Quantized Hall conductivity in two dimensions, Phys. Rev. B 23, 5632
• Feliciano Giustino et al (2020) The 2021 quantum materials roadmap. J. Phys. Mater. 3 042006.
• B. Keimer & J. E. Moore (2017) The physics of quantum materials. Nature Physics 13, 1045–1055.
• Hasan MZ, Kane CL (2010) Colloquium: Topological insulators. Reviews of Modern Physics, 82(4):3045–3067.
• Haldane FDM (1988) Model for a Quantum Hall Effect without Landau Levels: Condensed-Matter Realization of the "Parity Anomaly", Phys Rev. Lett. 61, 2015

## Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo semestre

## Modalità di verifica del profitto e valutazione

Prova orale.
Colloquio con discussione degli argomenti trattati durante le lezioni.
Verrà valutata la capacità di esporre gli argomenti trattati a lezione in tutti in tutti i loro aspetti concettuali e formali incluse le derivazione dei risultati.

Non sono previste valutazioni in itinere.

## Orario di ricevimento

Dal lunedì al venerdì a qualsiasi ora lavorativa (previo appuntamento con il docente via email).

## Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ