



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

## REGISTRO DELLE ATTIVITA' DIDATTICHE

### Dati Anagrafici

NICOLA MANINI

**Data di Nascita:** 06/06/1967 - **Codice Fiscale:** MNNNCL67H06C794P

**Ruolo:** I FASCIA

FIS/03

DIPARTIMENTO DI FISICA

### Dati dell'insegnamento

**Anno Accademico:** 2022/2023 - **Stato del registro:** CHIUSO

**Data di chiusura:** 12/09/2023

**Corso di Studio:** FISICA (Classe LM-17)

**Insegnamento:** Fisica dei Solidi 1

**Forme Didattiche e Ore assegnate:**

Lezioni (42.0 ore)

### Riepilogo attività

| Forma didattica | Ore registrate |
|-----------------|----------------|
| Lezioni         | 42.0           |

## Dettaglio attività

| Data       | Ora Inizio | Ore | Modalità             | Aula | Sede        | Forma didattica | Argomento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|------------|-----|----------------------|------|-------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 02/03/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Presentazione del corso. Introduzione alla fisica di solidi. Cenno a solidi non periodici. Strutture cristalline, cella primitiva e non primitiva. Simmetrie, classificazione dei sistemi cristallini e dei reticoli di Bravais. Qualche esempio di strutture cristalline monoatomiche e con base. Impaccamento di sfere, frazione di riempimento. Caratteristiche principali dei reticoli cubici. Esempi notevoli di strutture cristalline: strutture del diamante e di vari sali e semiconduttori cubici, reticolo hcp. La cella di Wigner-Seitz. Classificazione dei 230 gruppi spaziali.                                              |
| 03/03/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Struttura cristallina ed esperimenti di diffrazione, diffusione elastica di radiazione e trasformata di Fourier. Il reticolo reciproco. Intensità dei picchi di Bragg; fattore di forma atomico e fattore di struttura. Argomenti dati per lo studio individuale: I piani reticolari e gli indici di Miller. Formula di Bragg, formulazione di Ewald. Zone di Brillouin. Esempi per i reticoli cubici. Calcolo del fattore di forma atomico. Fattore di forma atomico per l'idrogeno. Analogo per neutroni. Esempi di fattore di struttura. Esempi di energia di coesione di cristalli: Gas nobili e cristalli ionici; somme di Madelung. |
| 09/03/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Coerenza spaziale e volume efficace nello scattering elastico. Microscopie e esperimenti di diffrazione. Discussione degli argomenti di studio individuale.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 10/03/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | La separazione adiabatica. Potenziale adiabatico totale di solidi qualsiasi (ad es. covalenti) e suo significato sia per l'energia coesiva del solido sia per le sue proprietà meccaniche e vibrazionali. Energia di coesione di un solido. Calcoli ab initio del potenziale adiabatico: una panoramica dei vari metodi e un'introduzione ai metodi variazionali (Hartree-Fock). Il metodo di Hartree-Fock.                                                                                                                                                                                                                               |
| 16/03/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Calcolo delle derivate funzionali. Derivazione e discussione delle equazioni di Hartree-Fock. Autoconsistenza, calcolo dell'energia totale.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 17/03/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Teoria del funzionale densità. Un esempio di funzionale densità approssimato: il metodo di Thomas-Fermi. Approssimazioni alla teoria del funzionale densità: il metodo di Kohn-Sham.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 23/03/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Approssimazione di densità locale per l'energia di scambio e correlazione. Confronto tra Hartree-Fock e DFT. Introduzione alla teoria della risposta elastica dei solidi. Analisi di deformazioni e sforzi elastici. La risposta lineare.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 24/03/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Modulo di bulk. Equazioni delle onde elastiche nei cristalli, caso speciale dei cristalli cubici, loro soluzioni in direzioni di alta simmetria. Argomento introdotto rapidamente e assegnato per lo studio individuale: Vibrazioni longitudinali e trasverse in solidi cubici. Leggi di dispersione. Modi ottici e modi acustici. Lezione su: Teoria generale delle vibrazioni dei cristalli.                                                                                                                                                                                                                                            |
| 30/03/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Proprietà generali dei modi normali di vibrazione, modi acustici e ottici, regola di somma acustica, ortogonalità dei modi. Calcoli ed esperimenti per la determinazione delle frequenze fononiche. Modi ottici ed effetti di interazioni a lungo raggio. Splitting LO-TO in cristalli cubici.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 31/03/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Proprietà termiche dei fononi. Densità spettrale degli oscillatori. Modello di Debye. Introduzione agli effetti anarmonici nei cristalli.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 13/04/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Effetti anarmonici nei cristalli: teoria di Gruneisen della dilatazione termica dei solidi. Collisioni tra fononi; conducibilità termica. Ruolo dei processi umklapp. Dipendenza della conducibilità termica dalla temperatura. Elettroni nei metalli: il modello a jellio nel formalismo DFT.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 14/04/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Energia di scambio e correlazione. Energia cinetica e contributo elettronico al calore specifico. Effetti di banda e di scattering sul calore specifico elettronico: la massa efficace termica. Trasporto di corrente in approssimazione di tempo di scattering: conduttività, resistività.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 20/04/2023 | 10:30      | 2.0 | sincrona in presenza | D    | Dip. Fisica | Lezioni         | Scattering da difetti e da fononi. Fononi umklapp. Effetto Hall, coefficiente Hall. Conducibilità termica elettronica. Legge di Wiedemann-Franz, numero di Lorenz. Conducibilità elettrica in alternata.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|            |       |     |                            |   |                |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------|-------|-----|----------------------------|---|----------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 21/04/2023 | 10:30 | 2.0 | sincrona<br>in<br>presenza | D | Dip.<br>Fisica | Lezioni | Cristalli periodici: metodi autoconsistenti nel calcolo degli stati elettronici. Soluzioni a simmetria conservata e soluzioni CDW. Origine fisica delle aperture dei gaps. Formulazione del moto elettronico in spazio reciproco. Teorema di Bloch e sua dimostrazione. Soluzione dell'equazione centrale per gli stati stazionari elettronici e struttura a bande. Riempimento delle bande: metalli, semiconduttori e isolanti. Superfici di Fermi. Approssimazione di "reticolo vuoto". Effetti del potenziale periodico vicino al bordo zona. Soluzione autoconsistente per il moto elettronico nei cristalli. |
| 28/04/2023 | 10:30 | 2.0 | sincrona<br>in<br>presenza | D | Dip.<br>Fisica | Lezioni | Riempimento delle bande e energia di coesione dei cristalli. Equazioni semiclassiche per il moto degli elettroni nei cristalli. Massa efficace e suo significato fisico. Lacune e loro moto. Proprietà di base di vari semiconduttori. Valori dei gaps, dipendenza dalla temperatura, gaps diretti e indiretti e applicazioni optoelettroniche. Moto degli elettroni nei semiconduttori: modello a due bande.                                                                                                                                                                                                     |
| 04/05/2023 | 10:30 | 2.0 | sincrona<br>in<br>presenza | D | Dip.<br>Fisica | Lezioni | Donori, accettori e livelli d'impurezza. Occupazione delle bande. Legge d'azione di massa. Densità di portatori in semiconduttori intrinseci. Tecnologia per la produzione di semiconduttori puri. Semiconduttori drogati: densità di portatori all'equilibrio al variare della temperatura.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 05/05/2023 | 10:30 | 2.0 | sincrona<br>in<br>presenza | D | Dip.<br>Fisica | Lezioni | Conducibilità elettrica nei semiconduttori in funzione della temperatura. Mobilità dei portatori. Effetto Hall nei semiconduttori. Cenno all'effetto Ettingshausen. Densità di portatori fuori dall'equilibrio, introduzione alle equazioni di continuità. Equazioni del moto per i portatori nei semiconduttori.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 11/05/2023 | 10:30 | 2.0 | sincrona<br>in<br>presenza | D | Dip.<br>Fisica | Lezioni | Portatori di maggioranza e schermatura alla Debye. Portatori di minoranza e vita media di ricombinazione. Iniezione di portatori di minoranza a tasso continuo, iniezione di portatori in modo impulsato. Cenni a: giunzione pn all'equilibrio e polarizzata; applicazioni: rettificatori, diodi Zener, diodi a effetto tunnel, LED, lasers a giunzione, celle solari; il transistor a giunzione; il transistor a effetto di campo, tecniche d'integrazione; eterogiunzioni. Conducibilità in alternata: campi elettromagnetici e funzioni di risposta lineare nei metalli.                                       |
| 12/05/2023 | 10:30 | 2.0 | sincrona<br>in<br>presenza | D | Dip.<br>Fisica | Lezioni | Riflettività e funzioni di risposta dielettrica. Lunghezza di penetrazione. Il modello di Drude per le funzioni di risposta. Introduzione ai diversi regimi di frequenza. I diversi regimi di frequenza delle funzioni di risposta dielettrica nel modello di Drude.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 18/05/2023 | 10:30 | 2.0 | sincrona<br>in<br>presenza | D | Dip.<br>Fisica | Lezioni | Limiti di applicabilità del modello a metalli reali. Introduzione all'equazione di Boltzmann. Trasporto elettronico nel formalismo dell'equazione di Boltzmann. Media sulla distribuzione. Correnti elettrica e di energia. Conduttività elettrica statica. Perturbazione oscillante nel tempo e nello spazio: conduttività elettrica in alternata, dipendenza da frequenza e vettore d'onda.                                                                                                                                                                                                                     |
| 19/05/2023 | 10:30 | 2.0 | sincrona<br>in<br>presenza | D | Dip.<br>Fisica | Lezioni | Regione di Drude e regione anomala. Trasporto in presenza di gradienti di temperatura e di densità elettronica nel formalismo dell'equazione di Boltzmann. Effetto Seebeck. Altri effetti termoelettrici: effetto Thomson, effetto Peltier. Cenno a altri fenomeni di trasporto e alla legge di Wiedemann-Franz. Efficienza ed applicazioni degli effetti termoelettrici. Cenno all'espansione di Sommerfeld per i coefficienti termoelettrici.                                                                                                                                                                   |