



# UNIVERSITÀ DI PAVIA

Anno Accademico 2022/2023

## MAGNETISMO E SUPERCONDUTTIVITA'

Anno immatricolazione	2022/2023
Anno offerta	2022/2023
Normativa	DM270
SSD	FIS/03 (FISICA DELLA MATERIA)
Dipartimento	DIPARTIMENTO DI FISICA
Corso di studio	SCIENZE FISICHE
Curriculum	Fisica delle tecnologie quantistiche
Anno di corso	1°
Periodo didattico	Primo Semestre (26/09/2022 - 13/01/2023)
Crediti	6
Ore	48 ore di attività frontale
Lingua insegnamento	ITALIANO
Tipo esame	ORALE
Docente	PRANDO GIACOMO (titolare) - 6 CFU
Prerequisiti	Conoscenza dei fondamenti della meccanica quantistica, della meccanica statistica e delle nozioni di base della struttura dei solidi: strutture reticolari, bande elettroniche e vibrazioni reticolari. Queste nozioni dovrebbero essere state acquisite nel corso della laurea triennale.
Obiettivi formativi	Apprendimento degli aspetti di base riguardanti i fenomeni critici nella materia, le proprietà dei materiali magnetici e superconduttori.
Programma e contenuti	In questo corso sono inizialmente presentati gli aspetti generali dei fenomeni critici nella materia. A seguito di un'introduzione alla fenomenologia delle transizioni di fase e alla loro descrizione in termini di rottura spontanea di simmetria, viene discussa la trattazione termodinamica generale della coesistenza tra diverse fasi della materia. La teoria di van der Waals per i fluidi viene poi presentata come rappresentativa delle teorie di campo medio e ne vengono derivati gli

esponenti critici. Segue una trattazione speculare della teoria di campo medio di Weiss per il magnetismo e una contestualizzazione nell'ambito della teoria di Landau per le transizioni di fase. Successivamente, viene discusso il fenomeno dell'opalescenza critica, utile per introdurre le principali proprietà dello stato critico attraverso la funzione di correlazione densità-densità e il suo stretto legame con la compressibilità isoterma. Dopo aver presentato le principali limitazioni concettuali delle teorie di campo medio, viene affrontata l'ipotesi di scaling statico per giustificare le relazioni tra i diversi esponenti critici e discussa l'argomentazione di Kadanoff come introduzione alla trattazione delle transizioni di fase tramite il metodo del gruppo di rinormalizzazione. Infine, viene introdotto il concetto di classe di universalità e sono discusse le ripercussioni del teorema di Mermin-Wagner per le transizioni di fase in sistemi a bassa dimensionalità.

In seguito, il corso prende in esame le proprietà magnetiche della materia. Si considerano dapprima sistemi di momenti magnetici localizzati e le possibili interazioni microscopiche che ne influenzano il comportamento (effetti di campo cristallino, interazioni di scambio diretto, di superscambio e di scambio antisimmetrico). Segue una disamina dei possibili stati di ordine magnetico osservati nella materia e delle tecniche sperimentali utilizzate per sondarli. Alla discussione delle proprietà degli stati fondamentali magnetici segue una discussione dettagliata delle eccitazioni magnoniche e delle loro ripercussioni sulla dipendenza delle grandezze come la magnetizzazione e il calore specifico dalla temperatura. Successivamente, si considerano i sistemi a elettroni itineranti e i principali modelli che danno conto della comparsa di fenomeni magnetici in tali sistemi. L'analisi del magnetismo nella materia si conclude con la discussione di argomenti di attuale interesse di ricerca: spintronica e altre applicazioni tecnologiche, magnetismo in sistemi bidimensionali, frustrazione magnetica in vetri e ghiacci di spin, transizioni di fase topologiche (modello di Berezinskii, Kosterlitz, Thouless e skyrmioni).

Infine, il corso prende in considerazione le principali proprietà fisiche della fase superconduttiva. Dopo un'iniziale contestualizzazione storica degli albori della fisica delle basse temperature, si prende in esame la caduta di resistività elettrica e il fenomeno del diamagnetismo perfetto. Si discute la teoria fenomenologica di Ginzburg e Landau e vengono introdotte sia le lunghezze caratteristiche della fase superconduttiva (lunghezza di penetrazione di London, lunghezze di coerenza di Pippard e di Ginzburg-Landau) sia la quantizzazione del flusso di campo magnetico. A questa iniziale disamina delle principali proprietà elettromagnetiche dei superconduttori segue un'analisi dei principali modelli che permettono una descrizione teorica microscopica della fase superconduttiva (coppia di Cooper e teoria BCS). Viene introdotta la distinzione tra superconduttori convenzionali e non convenzionali e vengono prese in esame le principali evidenze sperimentali che consentono di distinguere i due scenari. Si considerano quindi i fenomeni di tunnelling Giaever e Josephson in giunzioni superconduttore/metallo e superconduttore/superconduttore. Infine, si introduce la rilevanza applicativa della giunzione Josephson per

	<p>applicazioni in metrologia, come sensore di campo magnetico e come elemento circuitale di primaria importanza nella fabbricazione di qubit per implementazione di protocolli di computazione quantistica.</p>
<b>Metodi didattici</b>	<p>Lezioni frontali ed esercitazioni, cercando di mantenere un elevato livello interattivo con gli studenti.</p>
<b>Testi di riferimento</b>	<p>Riferimenti principali:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- H. Eugene Stanley, Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena (Oxford University Press, 1971).</li> <li>- G. Grosso, G. Pastori Parravicini, Solid State Physics (Academic Press, 2000).</li> </ul> <p>Riferimenti facoltativi utili per integrazioni e approfondimenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- P. M. Chaikin, T. C. Lubensky, Principles of Condensed Matter Physics (Cambridge University Press, 1995).</li> <li>- R. K. Pathria, P. D. Beale, Statistical Mechanics (Academic Press, 2022).</li> <li>- S. J. Blundell, Magnetism in Condensed Matter (Oxford University Press, 2001).</li> <li>- P. Mangin, R. Kahn, Superconductivity: an Introduction (Springer, 2017).</li> <li>- P. G. De Gennes, Superconductivity of Metals and Alloys (Westview Press, 1989).</li> <li>- A. Rigamonti, P. Carretta, Structure of Matter (Springer, 2015).</li> <li>- C. Kittel, Introduction to Solid State Physics (John Wiley &amp; Sons, 2005).</li> </ul>
<b>Modalità verifica apprendimento</b>	<p>Esame orale con domande sui tre ambiti principali del programma (fenomeni critici nella materia, magnetismo, superconduttività). Si raccomanda di focalizzarsi sulla comprensione fisica degli argomenti trattati concentrandosi sugli andamenti qualitativi delle diverse quantità e sui metodi sperimentali utilizzati per misurarle.</p>
<b>Altre informazioni</b>	<p>Italiano o, su richiesta, in Inglese (insegnamento English-friendly - <a href="http://fisica.unipv.it/dida/English-friendly-programme.pdf">http://fisica.unipv.it/dida/English-friendly-programme.pdf</a>)</p>
<b>Obiettivi Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile</b>	<p><a href="#">\$lbl_legenda_sviluppo_sostenibile</a></p>