

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Materiali Superconduttori e Magnetici

Superconducting and Magnetic Materials

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI (LM-Sc.Mat)
Codice	8067740	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

MATTEO CIRILLO

CODOCENTE

DANIELE DI CASTRO

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI Questo insegnamento si propone di introdurre gli studenti ai concetti fondamentali di superconduttività e dei nuovi materiali superconduttori, tra i quali quelli magnetici scoperti nel recente passato. In una prima parte del corso sono inoltre introdotti principi generali di criogenia e basse temperature e la fenomenologia dell'elio superfluido. Quindi sarà trattata la superconduttività "classica", ante 1986, e le principali teorie e modelli che ne hanno permesso l'interpretazione e la comprensione (teoria BCS e teoria di Landau-Ginsburg). Attenzione è dedicata anche al modello di London ed alla possibilità di spiegare con esso proprietà magnetiche e curve di magnetizzazione. Saranno poi trattati anche i principali composti superconduttori scoperti dopo il 1986, inclusi quelli a base di ferro. L'insegnamento si articola su lezioni di teoria e visite ai laboratori di criogenia e superconduttività. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE Recepire gli aspetti fondamentali della superconduttività e della sua rilevanza nella scienza dei materiali e nelle applicazioni di essa già esistenti CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE Individuare gli aspetti "unificanti" dei superfluidi nella materia condensata, in particolare quelli che caratterizzano superconduttività e superfluidità. Deve essere quindi in grado di distinguere superconduttori dalle loro proprietà magnetiche che sono molto importanti per applicazioni. Distinguere quindi tra le possibilità offerte da diversi tipi di superconduttori. AUTONOMIA DI GIUDIZIO. Sviluppare uno spirito critico che gli permetta di realizzare il ruolo e la rilevanza della superconduttività dal punto di vista fondamentale ed applicativo. ABILITÀ COMUNICATIVE Capacità di presentare l'apprendimento in forma scientifica compatta e consequenziale CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO. Saper relazionare sempre gli aspetti teorici dello studio con risultati sperimentali.
English	LEARNING OUTCOMES. This course aims to introduce students to the fundamental concepts of superconductivity and new superconducting materials, including magnetic

	superconductors discovered in recent times. The first part of the course covers the general principles of cryogenics and low-temperature physics, as well as the phenomenology of superfluid helium. This is followed by an examination of "classical" superconductivity—as understood prior to 1986—along with the key theories and models that have enabled its interpretation and comprehension (such as the BCS theory and the Ginzburg-Landau theory). Particular attention is also given to the London model and its application in explaining magnetic properties and magnetization curves. Furthermore, the course addresses major superconducting compounds discovered after 1986, including iron-based superconductors. The course consists of theoretical lectures and visits to cryogenics and superconductivity laboratories. KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING. Understanding the fundamental aspects of superconductivity and its significance in materials science and existing applications. APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING. Identify the “unifying” aspects of superfluids in condensed matter, specifically those that characterize superconductivity and superfluidity. Students must be able to distinguish superconductors based on their magnetic properties, which are highly significant for practical applications. Furthermore, they should be able to differentiate between the possibilities offered by various types of superconductors. MAKING JUDGEMENTS. Develop a critical mindset that enables one to understand the role and significance of superconductivity from both a fundamental and applied perspective. COMMUNICATION SKILLS. Ability to present learning in a concise, logical, and scientific format LEARNING SKILLS. To be able to relate theoretical models and results with experimental reality
--	--

PREREQUISITI

Italiano	Teoria dei campi elettromagnetici e meccanica quantistica, a livello di laurea triennale
English	Electromagnetic field theory and basic quantum mechanics

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Fondamenti di criogenia e fisica dell'elio II superfluido. I vortici in elio superfluido. La transizione superconduttiva a resistenza zero e l'effetto Meissner. Definizione del nuovo stato della materia. Il modello di London. La discontinuità nei calori specifici e la termodinamica della transizione superconduttiva. Il campo critico termodinamico e l'energia di condensazione. Proprietà magnetiche dei superconduttori di primo e secondo tipo. Curve di magnetizzazione. La teoria di Ginsburg-Landau ed il vortice di Abrikosov. Superconduttività debole ed effetto Josephson. Proprietà delle giunzioni Josephson derivate dalle funzioni d'onda macroscopiche di Ginsburg-Landau-Feynman. La fisica e la struttura dei cuprati ed altri nuovi materiali superconduttori. Pinning, flux-flow, flux creep e curve di reversibilità nei nuovi materiali. Dipendenza dei parametri caratteristici della
----------	--

	superconduttività (profondità di penetrazione di London, lunghezza di coerenza, gap di energia dagli assi cristallografici. Ruolo di impurezze magnetiche e non magnetiche. I superconduttori a base di ferro e le loro proprietà: analisi delle curve di magnetizzazione e delle applicazioni nella generazione di campi magnetici elevati (superiori a 20T)
<i>English</i>	Fundamentals of cryogenics and superfluid helium II physics. Vortices in superfluid helium. The superconducting transition to zero resistance and the Meissner effect. Definition of a new state of matter. London Model. The specific heat jump and the thermodynamics of superconductors. The thermodynamical critical field and the condensation energy. Magnetic properties of type 1 and type 2 superconductors. The critical fields of type 2 superconductors. Magnetization curves. Ginsburg-Landau theory and the Abrikosov vortex. Weak superconductivity and the Josephson effect. Properties of Josephson junctions derived from the macroscopic Ginsburg-Landau-Feynman wavefunctions. Physics and structure of new superconducting materials: pinning, flux-flow, flux creep and magnetic reversibility. Dependence of characteristic features of superconductivity (London penetration depth, coherence length, gap energy) upon crystals axes. The role magnetic and non magnetic impurities. The iron-based superconductors: analysis of their magnetization curves and their applications in the generation of very high (above 20T) magnetic fields.

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	1) G. K. White and P. J. Meeson, "Experimental Techniques in Low-Temperature Physics", Clarendon Press (Oxford UK, 2002) 2) D. R. Tilley and J. Tilley "Superfluidity and Superconductivity", Taylor&Francis (New York, 1990) 3) P. G. De Gennes "Superconductivity of Metals and Alloys", riedizione, Westview Press (New York 1989) 4) M. Tinkham, "Introduction to Superconductivity", second edition, Dover (New York, 1996) 5) R. Hott, R. Kleiner, T. Wolf, and G. Zwicknagl, "Superconducting materials - a topical review", pp. 1-69, in Anant V. Narlikar, Ed : "Frontiers in Superconducting Materials" Springer (2005) 6) P.M. Aswathy, J. B. Anooja, P. M. Sarun, and U. Syamaprasad, "An overview on iron based superconductors", Superconductor Science and Technology, Volume 23, Issue 7, article id. 073001 (2010).
	1) G. K. White and P. J. Meeson, "Experimental Techniques in Low-Temperature Physics", Clarendon Press (Oxford UK, 2002) 2) D. R. Tilley and J. Tilley "Superfluidity and Superconductivity", Taylor&Francis (New York, 1990) 3) P. G. De Gennes "Superconductivity of Metals and Alloys", riedizione, Westview Press (New York 1989) 4) M. Tinkham, "Introduction to Superconductivity", second edition, Dover (New York, 1996) 5) R. Hott, R. Kleiner, T. Wolf, and G. Zwicknagl, "Superconducting materials - a topical review", pp. 1-69, in Anant V. Narlikar, Ed : "Frontiers in Superconducting Materials" Springer (2005) 6) P.M. Aswathy, J. B. Anooja, P. M. Sarun, and U. Syamaprasad, "An overview on iron based superconductors", Superconductor Science and Technology, Volume 23, Issue 7, article id. 073001 (2010).

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Il corso prevede lezioni frontali tenute in aula per un totale di 72 ore. Sono previste lezioni dimostrative presso il Laboratorio di Basse Temperature del Dipartimento di Fisica dell'Università di Tor Vergata.
English	The course includes lectures held in the classroom for a total of 72 hours. Demonstrative lectures are planned at the Low Temperature Physics Laboratory of the Department of Physics of the University of Tor Vergata

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Le lezioni frontali non hanno obbligo di frequenza ma essa è fortemente consigliata.
English	Lectures are not obligatory, but the attendance is highly recommended.

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

☐ Prova scritta ☒ Prova orale ☐ Prova di laboratorio ☐ Prova pratica
☐ Valutazione in itinere ☐ Valutazione di progetto ☐ Valutazione di tirocinio

COMPOSIZIONE DELLA COMMISSIONE VALUTATRICE

Prof. Matteo Cirillo Prof. Daniele Di Castro Prof. Luigi Vesce
--

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	Durante la prova orale sono sottoposti agli studenti esercizi che riguardano il programma. Inoltre la prova è intesa a valutare la comprensione da parte dello studente delle proprietà dei condensati macroscopici, che siano essi superfluidi o superconduttori. Inoltre sarà specificamente richiesta la conoscenza della struttura di nuovi materiali superconduttori
English	The student will have to solve during the oral examination exercises concerning the whole program. The overall purpose of the exam is an evaluation of the understanding of the physics of quantum macroscopic condensates, both superfluid or superconductors. Also the knowledge of the structure of new superconducting materials should be tested.