<table>
<tr><td>Corso di Laurea Magistrale in Fisica</td><td colspan="4">Insegnamento / Course
Metodi Sperimentali per le Nanotecnologie e la Materia Condensata /
Experimental methods for Nanotechnologies and Condensed Matter Physics</td></tr>
<tr><td>SSD: FIS/03</td><td>CFU/Credits: 8</td><td>Anno di corso: I</td><td>Lezione (ore): 50</td><td>Esercitazione (ore): 22</td></tr>
<tr><td colspan="3">Obiettivi formativi generali:
Il corso è finalizzato a sviluppare la sensibilità scientifica dello studente all’ideazione e realizzazione di esperimenti di avanguardia in Fisica della Materia Condensata ed in particolare nei settori delle Tecnologie Quantistiche e delle Nanotecnologie. Si accompagna un percorso formativo su tematiche ed esperimenti che utilizzano concetti di meccanica quantistica e tecnologie di avanguardia per l’ideazione, la realizzazione e la caratterizzazione di dispositivi quantistici e/o nanostrutturati per la computazione quantistica e per un’ampia gamma di applicazioni. La filosofia è vedere la meccanica quantistica non solo come chiave per interpretare la natura ma come operatore, come principio attivo per la costruzione di nuove “macchine”, e stimolare lo studente su un percorso di autonomia e creatività per l’ideazione, il design, la realizzazione di esperimenti di frontiera con la relativa fase di misura. Il corso è completato da tre blocchi di laboratorio, tesi a realizzare una nanostruttura, a misurarne le sue proprietà di trasporto in condizioni di basso rumore e a misurare le proprietà di una giunzione Josephson o di un qubit superconduttivo.</td><td colspan="2">Training objectives:
This course is meant to encourage students to study the physical ideas, the design and the realization of frontier experiments in Solid State Physics, with a special focus in the fields of Quantum Technologies and Nanotechnologies.
Quantum hardware is what transforms the novel concepts of quantum computation and communication into reality. The key challenge is to control, couple, transmit and read out the fragile stage of quantum systems with great precision, and in a technologically viable way. This course aims at illustrating “quantum mechanics at work”, not only as a key to interpret nature but also as a drive to build new “machines”. The idea is to simulate the student to a creative and independent path towards the planning, design and realization of advanced experiments. Three experiments are part of the course: realization of a nanostructure, measurement of its transport properties in low noise environment at the lowest temperatures and measurement of the properties of a Josephson junction or of a superconducting qubit.</td></tr>
</table>

Programma sintetico (sillabo):

1) Richiami su: Transizioni di fase, ordine, simmetria, parametro d'ordine, rottura della simmetria, rigidità, difetti topologici e dislocazione, esempio dell'acqua, fluttuazioni, energie caratteristiche e potenziali (3 ore)

2) a) Richiami su: Struttura e Scattering, legge di Bragg e richiami su teoria a bande, operatore densità e funzione di correlazione, simmetria e reticolo cristallino, solidi cristallini, cenni su ordine magnetico; b) Deposizione di film sottili; tecniche di deposizione, caratterizzazione strutturale di cristalli e film sottili (raggi X, microscopio a forza atomica (AFM) e a scansione tunnel (STM), tecniche di caratterizzazione a livello nanoscopico AFM e STM e potenzialità applicative (a+b = 4 ore)

3) a) Teorie di campo medio; Modelli e riscontri sperimentali, limiti di applicazione, Fenomeni critici, esponenti critici, concetti di universalità e di scaling, teoria di Ginzburg-Landau (GL); b) Fenomenologia dei superconduttori, equazioni generali di GL in superconduttività e loro derivazione, quantizzazione del flusso, lunghezza di coerenza, elettrodinamica, lunghezza penetrazione London, elementi di termodinamica, Effetti quantistici macroscopici, rottura spontanea di simmetria, effetto isotopico, elementi sulla teoria BCS, eccitazioni di quasiparticella, effetto tunnel di quasiparticella in giunzioni con superconduttori, Difetti topologici, numeri quantistici topologici in fisica non relativistica (a+b = 9 ore)

4) Dinamica correlazione e risposta; eccitazioni nella materia condensata, Richiami e loro classificazione, moto browniano, Fenomeni di diffusione e legge di Langevin, dinamica di spin, effetti dissipativi nei fluidi, teorema fluttuazione-dissipazione per oscillatore armonico, modelli stocastici ed elementi sulla dinamica dei fenomeni critici (4 ore)

5) Elementi di fisica mesoscopica trasporto quantistico e confinamento, limite balistico e quantizzazione della conduttanza, trasporto diffusivo, ruolo del disordine, effetti di interferenza quantistica, effetto Aharonov-Bohm, formulazione di Landauer (10 ore)

6) a) Tecniche di nano-fabbricazione, nano-litografia, fabbricazione; b) Attività correlata in laboratorio realizzazione di una nanostruttura (nanofilo) (a+b = 8 ore); c) Caratterizzazione delle proprietà di trasporto di nanostrutture esercitazione pratica di laboratorio: misure di trasporto di una nanostruttura misure corrente-tensione in funzione della temperatura (4 ore)

7) a) Dispositivi con superconduttori: effetto Josephson, approfondimento sul concetto di fase e sua misura, Giunzioni, interferometri quantistici, tunneling quantistico macroscopico, fluttuazioni, rumore, dissipazione e decoerenza in dispositivi Josephson, principi e tecniche di misure, dispositivi nanostrutturati con semiconduttori e sistemi ibridi: principi e riflessione di Andreev, Mesoscopia e Superconduttività; (12 ore)

8) Principi di elettronica superconduttiva, quantum bits con giunzioni Josephson, phase-, charge- and flux qubits, dal transmon al fluxonium, principi di funzionamento, qubit read-out, distinzione fra bit classico a bit quantistico, entanglement sovrapposizione di stati quantistici, sfera di Bloch e operazioni quantistiche, architettura QED per read-out qubit (8 ore) b) Attività correlata in laboratorio: misura di una giunzione Josephson e/o qubit superconduttivo a con uso di sistemi criogenici ed elettronica a basso rumore (10 ore)

Contents:

a) Notes on Phase transitions, Order and Excitations in Condensed Matter, broken symmetry, topological defects,
b) Notes on mean filed theories, Ginzburg-Landau equations and derivation, phenomenology of Superconductivity, Macroscopic Quantum Phenomena vortex pairs and notes on vortex matter and dynamics, topological quantum numbers in nonrelativistic physics,
c) Dynamics, correlation and response function; diffusion and Brownian motion
d) Mesoscopic with Superconductivity (including notes on quantum interference effects in transport properties and on quantum transport)
e) Superconducting Devices, the Josephson effect and dissipationless conversion, Andreev reflection, Dynamical Coulomb Blockade in Josephson junctions;
f) Notes on dissipation in a Josephson junction, decoherence and noise, macroscopic quantum tunneling and its foundations on dynamics, correlation and response, diffusion and Langevin theory
g) Nanoelectronic Devices: main notions and physical principles; Nanoscale Processing for Advanced Devices
h) Quantum bits and essential concepts that distinguish quantum from classical, Quantum states superpositions: introduction of the Bloch sphere quantum operations, Two particles superpositions (EPR): Entanglement,
i) Superconducting and hybrid qubits, dissipation engineering, principles of superconducting design, phase-, charge- and flux qubits, from transmon to fluxonium, Josephson bifurcation amplifier, SQUIDs and qubit read-out, entangled microwave photons, Circuit-QED architecture to readout a Josephson qubit

Esami propedeutici / Propaedeutic exams: -
Prerequisiti / Prerequisites: -
Finalità e modalità di verifica dell'apprendimento Esame orale
Il corso può essere erogato in lingua inglese in presenza di studenti stranieri (es. Erasmus) / The course can be given in English in presence of foreign students (e.g. Erasmus)