

**DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA**

**MICROSCOPIA E NANOSCOPIA**

MICRO-SCOPY AND NANO-SCOPY

**INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA**

|               |                        |               |                                            |
|---------------|------------------------|---------------|--------------------------------------------|
| <b>A.A.</b>   | 2026-2027              | <b>CdS</b>    | SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI (LM-17) |
| <b>Codice</b> | 8068719 OPPURE 8067739 | <b>Canale</b> | Unico                                      |
| <b>CFU</b>    | 9                      | <b>Lingua</b> | Italiano                                   |

**DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA**

**ANAN SGARLATA**

**CODOCENTE MANUELA SCARSELLI,**

Modulo:

**CODOCENTE CLAUDIO GOLETTI**

Modulo:

**OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI**

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Italiano | <p><b>OBIETTIVI FORMATIVI</b></p> <p>L'insegnamento fornisce una conoscenza avanzata delle principali tecniche sperimentali per lo studio e la caratterizzazione dei materiali su scala nanometrica, con particolare attenzione alle moderne metodologie di microscopia. Il percorso formativo integra lezioni teoriche, dedicate ai fondamenti fisici delle tecniche di indagine, e attività sperimentali in laboratorio finalizzate all'utilizzo diretto della strumentazione impiegata per la caratterizzazione strutturale ed elettronica dei materiali.</p> <p>Al termine del corso, gli studenti avranno acquisito una solida comprensione delle proprietà della materia alla scala dei nanometri e delle tecniche di misura più efficaci per la loro investigazione. Il raggiungimento degli obiettivi formativi è verificato mediante esame orale e attraverso la redazione di relazioni scientifiche relative alle attività sperimentali svolte presso i laboratori di ricerca coinvolti nel corso.</p> <p><b>CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE</b></p> <p>Gli studenti acquisiranno una conoscenza approfondita dei principi fisici che governano le proprietà dei materiali nanostrutturati e delle principali tecniche sperimentali utilizzate per la loro caratterizzazione. Saranno in grado di comprendere il funzionamento, le potenzialità e i limiti delle diverse metodologie di microscopia e analisi dei materiali, sviluppando una visione critica delle problematiche sperimentali connesse alla ricerca nel settore.</p> <p><b>CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE</b></p> <p>Al termine dell'insegnamento gli studenti saranno in grado di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• selezionare e utilizzare le tecniche sperimentali più appropriate per la caratterizzazione di specifici materiali;</li> <li>• correlare le proprietà strutturali ed elettroniche dei materiali ai loro possibili ambiti applicativi;</li> </ul> |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | <ul style="list-style-type: none"><li>• analizzare criticamente dati sperimentali, interpretandoli alla luce dei modelli teorici di riferimento;</li><li>• progettare e condurre attività sperimentali con un approccio metodologicamente rigoroso e professionalmente adeguato;</li><li>• svolgere ricerche bibliografiche autonome attraverso testi specialistici, riviste scientifiche e banche dati elettroniche;</li><li>• reperire, valutare e selezionare criticamente informazioni scientifiche provenienti da archivi e risorse digitali.</li></ul> <p><b>ABILITÀ COMUNICATIVE</b></p> <p>Gli studenti svilupperanno la capacità di comprendere e utilizzare la letteratura scientifica internazionale, prevalentemente in lingua inglese, acquisendo la terminologia specialistica propria della scienza dei materiali e della microscopia applicata.</p> <p>Saranno inoltre in grado di comunicare in modo chiaro, rigoroso ed efficace risultati sperimentali e attività di ricerca sia in forma orale sia mediante la redazione di relazioni tecniche e scientifiche strutturate secondo gli standard della letteratura internazionale. Le relazioni, redatte in italiano o in inglese, dovranno presentare l'organizzazione e il livello di approfondimento propri di un articolo scientifico.</p> <p>Particolare attenzione sarà dedicata allo sviluppo di competenze comunicative interdisciplinari, essenziali in un ambito come la scienza dei materiali, che integra contributi provenienti dalla fisica, dalla chimica, dalla biologia e dall'ingegneria.</p>     |
| English | <p><b>LEARNING OBJECTIVES</b></p> <p>This course provides advanced theoretical and experimental training in the characterization of materials at the nanoscale, with particular emphasis on modern microscopy techniques. The course combines lectures on the fundamental physical principles governing nanoscale phenomena with laboratory activities focused on the use of state-of-the-art instrumentation for the structural and electronic characterization of materials.</p> <p>Students will gain a comprehensive understanding of the properties of matter at the nanometer scale and of the experimental methods used to investigate them. The achievement of the learning objectives is assessed through an oral examination and the submission of scientific reports based on laboratory activities carried out in research laboratories associated with the course.</p> <p><b>KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING</b></p> <p>Upon successful completion of the course, students will be able to:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• demonstrate advanced knowledge of the physical principles underlying the properties of materials at the nanoscale;</li><li>• describe the operating principles, capabilities, and limitations of the main microscopy and materials characterization techniques;</li><li>• understand the relationship between material structure and electronic properties at the nanometer scale;</li><li>• critically evaluate the applicability of different experimental approaches to specific scientific and technological problems.</li></ul> |

#### APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING

- Upon successful completion of the course, students will be able to:
- select the most appropriate experimental techniques for the characterization of a given material;
- design and perform experimental investigations using advanced microscopy and characterization tools;
- analyze and interpret experimental data using appropriate theoretical models;
- correlate structural and electronic properties with the functional behavior and potential applications of materials;
- conduct independent scientific literature searches using specialized databases, journals, and technical resources;
- critically assess and synthesize information obtained from scientific publications and online research repositories.

#### COMMUNICATION SKILLS

Students will develop the ability to understand and effectively use the international scientific literature, primarily in English, acquiring the specialized terminology of materials science and applied microscopy. They will also be able to communicate research activities and experimental results clearly, accurately, and effectively, both through oral presentations and through the preparation of technical and scientific reports following the standards of the international scientific community. These reports may be written in either English or Italian and should be structured according to the conventions of a scientific article.

Particular emphasis will be placed on the development of interdisciplinary communication skills, which are essential in materials science, a field that integrates concepts and methodologies from physics, chemistry, biology, and engineering.

#### PREREQUISITI

|          |                                                                            |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|
| Italiano | Nozioni di base dei Corsi di Struttura della Materia 2 e Fisica dei Solidi |
| English  | Knowledge of Solid Physics and Physics of the Matter 2                     |

#### PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA



|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Italiano</b> | <p>Per ogni tecnica sperimentale studiata sono individuati i principi teorici di funzionamento, l'apparato sperimentale, l'analisi dei dati e le possibili informazioni deducibili dalle diverse tecniche di acquisizione.</p> <p>Introduzione alla Scienza e Tecnologia su scala Nanometrica. Tecniche di Superficie in Ultra Alto Vuoto e Struttura delle Superfici Solide. (4h teoria + 2h laboratorio)</p> <p>Principali processi fisici che intervengono quando una particella carica e/o una radiazione interagiscono con la materia. Diffusione e Diffrazione (4h)</p> <p>La Microscopia di sonda a Scansione: in particolare la Microscopia a Scansione a Effetto Tunnel, in Vuoto e in Liquido e La Microscopia a Forza Atomica. (8h teoria + 16 h lab)</p> <p>La Spettroscopia di Fotoemissione a Raggi X (6h)</p> <p>La Riflettività Anisotropa (RAS) (2h)</p> <p>Analisi dei dati e come scrivere un articolo scientifico (2h teoria + 4h lab)</p> |
| <b>English</b>  | <p>For each experimental technique the following topics are focused: theoretical principles, experimental apparatus, data analysis and quantitative information inferred.</p> <p>Introduction to Science and Technology at the nanoscale. Techniques for Ultra High Vacuum and Surface Structure of Solid Surfaces . (4h theory + 2h lab)</p> <p>Main physical processes involved when a charged particle or radiation interact with matter. Diffusion and Diffraction (4h theory)</p> <p>Scanning Probe Microscopy : in particular Scanning Tunnel Microscopy (STM) in Vacuum and in liquid (EC_STM ) and Atomic Force Microscopy (AFM) (8h theory + 16h lab)</p> <p>X-Ray Photoemission Spectroscopy (6h)</p> <p>The optical techniques : RAS (2h theory)</p> <p>Data analysis and how to write a scientific paper (2h theory + 4h lab)</p>                                                                                                                  |

#### TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Italiano</b> | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Microscopia SPM Dawn Bonnell: Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques and Application Cap 2 tutto, Cap 3 tutto, Cap 4 tutto 3.</li><li>2. E. Placidi "Introduzione alla microscopia a forza atomica" Ed. Lulu</li><li>3. E. Placidi "Elementi di fisica del vuoto" Ed. Lulu</li></ol> <p>Note del Docente sul. Canale della piattaforma teams</p> |
| <b>English</b>  | <p>Microscopia SPM Dawn Bonnell: Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques and Application Cap 2 tutto, Cap 3 tutto, Cap 4 tutto 3</p> <p>Teacher Notes on teams channel</p>                                                                                                                                                                                                                 |

#### DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Italiano</b> | <p>Il corso si svolge utilizzando sia lezioni frontali che esercitazioni svolte nei laboratori. Un esperimento presso uno o più laboratori è oggetto della relazione che viene presentata per la valutazione scritta in forma di articolo scientifico</p> |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



|         |                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| English | The course takes place using both lectures and exercises carried out in the laboratories. An experiment in one or more laboratories is the subject of the report which is presented for written evaluation in the form of a scientific article |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**MODALITÀ DI FREQUENZA**

☐ frequenza obbligatoria      ☒ frequenza facoltativa

**DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA**

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Italiano | La frequenza al corso non è obbligatoria, tuttavia la frequenza agli stage presso i laboratori di ricerca è parte essenziale del corso. Per facilitare la frequenza ai laboratori di ricerca si offre un'ampia disponibilità di orari e di giorni in modo da rendere possibile lo stage anche a studenti lavoratori. In caso in cui gli studenti siano impossibilitati a frequentare il laboratorio è possibile scegliere uno stage teorico. |
| English  | frequenza al corso non è obbligatoria, tuttavia la frequenza agli stage presso i laboratori di ricerca è parte essenziale del corso. Per facilitare la frequenza ai laboratori di ricerca si offre un'ampia disponibilità di orari e di giorni in modo da rendere possibile lo stage anche a studenti lavoratori. In caso in cui gli studenti siano impossibilitati a frequentare il laboratorio è possibile scegliere uno stage teorico.    |

**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**

Anna Sgarlata, Manuela Angela Maria Scarselli, Claudio Goletti, Luca Persichetti

**DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO**

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Italiano | <p>Il corso si svolge utilizzando sia lezioni frontali che esercitazioni svolte nei laboratori. Un esperimento presso uno o più laboratori è oggetto della relazione che viene presentata per la valutazione scritta in forma di articolo scientifico</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Non idoneo</b><br/>Conoscenze insufficienti degli argomenti fondamentali del corso e incapacità di applicare correttamente le tecniche e i concetti di base della caratterizzazione dei materiali.</li><li>• <b>18–20</b><br/>Conoscenza essenziale dei contenuti del corso e delle principali tecniche sperimentali. Capacità limitata di analisi e interpretazione dei risultati sperimentali.</li><li>• <b>21–23</b><br/>Conoscenza adeguata degli argomenti trattati. Capacità di descrivere e applicare le principali tecniche di caratterizzazione e di interpretare semplici risultati sperimentali.</li><li>• <b>24–26</b><br/>Buona conoscenza dei contenuti teorici e sperimentali. Capacità di analizzare dati sperimentali e di collegare in modo corretto teoria e pratica di laboratorio.</li></ul> |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>27–29</b><br/>Conoscenza approfondita degli argomenti e buona autonomia di giudizio. Capacità di discutere criticamente tecniche, risultati sperimentali e possibili applicazioni dei materiali studiati.</li> <li>• <b>30</b><br/>Preparazione completa e rigorosa, con piena padronanza degli aspetti teorici e sperimentali, ottima capacità di analisi e utilizzo appropriato del linguaggio scientifico.</li> <li>• <b>30 e lode</b><br/>Preparazione eccellente, elevata capacità critica e di approfondimento, piena autonomia nell'analisi e nella discussione di problemi avanzati di caratterizzazione dei materiali.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| English | <p>The course combines lectures and laboratory sessions. Experimental activities carried out in one or more research laboratories form the basis of a written report, prepared in the format of a scientific paper and assessed as part of the final evaluation.</p> <p><b>Grading Scale</b></p> <p><b>Fail</b><br/>Insufficient knowledge of the fundamental topics and inability to correctly apply basic concepts and techniques in materials characterization.</p> <p><b>18–20</b><br/>Basic knowledge of the course contents and main experimental techniques. Limited ability to analyze and interpret experimental results.</p> <p><b>21–23</b><br/>Adequate knowledge of the topics covered. Ability to describe and apply the main characterization techniques and interpret simple experimental results.</p> <p><b>24–26</b><br/>Good understanding of both theoretical and experimental aspects. Ability to analyze data and appropriately relate theory to laboratory practice.</p> <p><b>27–29</b><br/>Thorough knowledge of the subject and good critical judgment. Ability to discuss techniques, experimental results, and potential applications of the studied materials.</p> <p><b>30</b><br/>Comprehensive and rigorous preparation, full command of theoretical and experimental aspects, excellent analytical skills, and appropriate use of scientific terminology.</p> <p><b>30 cum laude</b><br/>Outstanding preparation, excellent critical thinking and independent judgment, with the ability to analyze and discuss advanced materials characterization problems at a high level.</p> |