

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

NANOSTRUTTURE E MATERIALI MOLECOLARI PER L'ELETTRONICA E L'OPTOELETTRONICA CON LABORATORIO

NANOSTRUCTURES AND MOLECULAR MATERIALS FOR ELECTRONICS AND OPTOELECTRONICS WITH LABORATORY

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	CHIMICA
Codice	8068245	Canale	UNICO
CFU	6	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

EMANUELA TAMBURRI

CODOCENTE

SILVIA BATTISTONI

Modulo: ES Laboratorio / Laboratory

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	<p>OBIETTIVI FORMATIVI:</p> <p>L'obiettivo principale del corso è approfondire i concetti della chimica dei materiali organici coniugati, per una comprensione critica delle loro proprietà e delle loro funzionalità nell'ambito dell'elettronica molecolare. A tal fine si richiede:</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'acquisizione della conoscenza della struttura molecolare di materiali organici coniugati e della correlazione tra struttura chimica, reattività, proprietà ottiche e di trasporto di carica di tali sistemi; - L'acquisizione della conoscenza delle strategie di caratterizzazione, sintesi e preparazione di materiali organici coniugati, in vista del loro trasferimento tecnologico in dispositivi elettronici ed optoelettronici di largo consumo e a basso impatto ambientale. <p>CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE:</p> <p>Si richiede di:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conoscere le correlazioni tra struttura chimica e struttura elettronica dei materiali organici coniugati e comprendere la loro connessione con le loro proprietà in termini di foto- ed elettroattività; - Conoscere la reattività chimica dei materiali organici coniugati e comprenderne le metodologie di preparazione e di caratterizzazione adeguate. <p>CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE:</p>
-----------------	---

	<p>Si richiede di saper utilizzare le conoscenze teoriche e pratiche acquisite sui materiali organici coniugati per modellizzare, preparare e caratterizzare materiali molecolari innovativi sia alla micro- che alla nano-scala.</p> <p>AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Si richiede di:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Individuare le strategie di lavorazione in termini di progettazione, caratterizzazione, preparazione e trattamento di materiali molecolari in funzione del contesto di studio e applicazione; - Valutare criticamente gli approcci metodologici suggeriti dalla letteratura per sviluppare un protocollo di processing del materiale molecolare adeguato alla soluzione della problematica in studio; - Valutare la consistenza logica della metodologia proposta, sia in ambito teorico sia nell'analisi di dati sperimentali; - Saper riconoscere eventuali errori attraverso un'analisi critica del metodo adottato. <p>ABILITÀ COMUNICATIVE: Si richiede di saper:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comunicare le conoscenze apprese nell'ambito dei materiali molecolari e le caratteristiche delle loro applicazioni utilizzando una terminologia appropriata; - Interagire con esperti in ambito chimico, fisico e ingegneristico e interpretare e integrare le differenti visioni delle diverse discipline. <p>CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Si chiede di maturare una capacità di apprendimento delle tematiche affrontate durante il corso, sia mediante la consultazione di libri e pubblicazioni scientifiche, sia mediante banche dati e altre informazioni in rete, che sarà necessaria sia per intraprendere studi successivi con un approccio critico ed un alto grado di autonomia, sia per inserirsi prontamente in ambienti culturali e di lavoro multidisciplinari.</p>
<p><i>English</i></p>	<p>LEARNING OUTCOMES:</p> <p><i>The main objective of the course is to deepen understanding of the concepts of conjugated organic materials chemistry, enabling a critical understanding of their properties and functionalities in the field of molecular electronics. To achieve this goal, the following are required:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Acquiring knowledge of the molecular structure of conjugated organic materials and understanding the correlation between chemical structure, reactivity, optical properties, and charge transport of such systems;</i> - <i>Acquiring knowledge of characterization strategies as well as synthesis and preparation of conjugated organic materials with a view to their technological transfer into electronic and optoelectronic devices that are widely used and environmentally friendly.</i>

KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:

The course requires:

- *Understanding the correlations between chemical structure and electronic structure of conjugated organic materials and comprehend their connection with their properties in terms of photo- and electro-activity;*
- *Understanding the chemical reactivity of conjugated organic materials and grasping the appropriate methodologies for their preparation and characterization.*

APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:

Students are required to apply the theoretical and practical knowledge acquired on conjugated organic materials to model, prepare, and characterize innovative molecular materials at both micro- and nano-scales.

MAKING JUDGEMENTS:

The course requires:

- *Identifying processing strategies in terms of design, characterization, preparation, and treatment of molecular materials according to the study and application context;*
- *Critically evaluating methodological approaches suggested in the literature to develop a material processing protocol suitable for solving the problem under study;*
- *Evaluating the logical consistency of the proposed methodology, both theoretically and in the analysis of experimental data;*
- *Recognizing any errors through a critical analysis of the applied method.*

COMMUNICATION SKILLS:

Students are required to:

- *Communicate the knowledge acquired in the field of molecular materials and the characteristics of their applications using appropriate terminology;*
- *Interact with experts in the fields of chemistry, physics, and engineering, and interpret and complement the different perspectives of various disciplines.*

LEARNING SKILLS:

Students are required to develop the ability to learn about the topics covered in the course, both by consulting books and scientific publications and by using databases and other online information.

This capability will be necessary both for pursuing further studies with a critical approach and a high degree of autonomy, and for promptly integrating into multidisciplinary cultural and work environments.

PREREQUISITI

Italiano	Si chiede di aver acquisito le conoscenze e le competenze relative agli insegnamenti di: Chimica Generale; Chimica Inorganica; Chimica Organica; Chimica Fisica; Fisica Generale.
English	<i>Students are expected to have acquired the knowledge and competencies related to the following courses: General Chemistry, Inorganic Chemistry, Organic Chemistry, Physical Chemistry, and General Physics.</i>

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	<p>Il programma è suddiviso in 5 CFU (40 h) di lezioni frontali in aula e in 1 CFU (12 h) di attività di laboratorio.</p> <p>Le tematiche affrontate sono le seguenti:</p> <p>La prima parte (16 h) è dedicata a richiami di nozioni di base di chimica generale e organica, con riferimento alla chimica del carbonio nei composti organici e nei sistemi coniugati. Analisi molecolare mediante tecniche spettroscopiche su materiali organici coniugati. Nozioni di base sulla spettroscopia di risonanza di spin elettronico. Approfondimento dei complessi con leganti π donatori e a trasferimento di carica in relazione alla formazione del legame chimico e alle proprietà ottiche e magnetiche.</p> <p>La seconda parte (24 h) è dedicata all'esame di concetti generali e di contesto relativi alle seguenti tematiche: differenze tra semiconduttori organici e inorganici; portatori di carica e meccanismi di trasporto di carica di solidi molecolari a base di "small molecules" e polimeri conduttori: modello a bande, modello a <i>hopping</i> e modello MTR; mobilità nei semiconduttori organici: effetto della morfologia e della temperatura; esempi di materiali organici usati nell'elettronica molecolare; metodologie di sintesi, deposizione, caratterizzazione e processing di materiali molecolari per dispositivi elettronici ed optoelettronici; proprietà funzionali dei materiali costituenti OLED, OTFT e celle solari; nozioni di base di sistemi utilizzati per dispositivi a scala molecolare.</p> <p>L'ultima parte del programma (12 h) è dedicata alle esperienze di laboratorio che consisteranno nella sintesi elettrochimica e nella deposizione da fase liquida di film di polimero conduttori, nonché nella loro caratterizzazione strutturale, morfologica, elettrica ed elettrochimica. Successivamente, questi sistemi verranno assemblati per formare un transistor organico, che verrà caratterizzato elettricamente.</p>
English	<p><i>The programme is structured into 5 CFU (40 h) of lectures and 1 CFU (12 h) of laboratory activities.</i></p> <p><i>The topics covered are as follows:</i></p> <p><i>The first part (16 h) is devoted to a review of fundamental concepts of general and organic chemistry, with particular emphasis on carbon chemistry in organic compounds and conjugated systems. Molecular analysis using spectroscopic techniques applied to conjugated organic materials is addressed. Basic principles of electron spin resonance spectroscopy are introduced. Further in-depth discussion focuses on complexes with π-donor ligands and charge-transfer systems, with emphasis on their chemical bonding and optical and magnetic properties.</i></p>

	<p><i>The second part (24 h) addresses general and contextual concepts related to the following topics: differences between organic and inorganic semiconductors; charge carriers and charge transport mechanisms in molecular solids based on small molecules and conducting polymers, including band model, hopping model, and multiple trapping and release (MTR) model; charge carrier mobility in organic semiconductors, with emphasis on the effects of morphology and temperature; examples of organic materials used in molecular electronics; synthesis, deposition, characterization, and processing methodologies of molecular materials for electronic and optoelectronic devices; functional properties of materials used in OLEDs, OTFTs, and solar cells; basic principles of systems employed for molecular-scale devices.</i></p> <p><i>The final part of the programme (12 h) is dedicated to laboratory activities, consisting of the electrochemical synthesis and solution-phase deposition of conducting polymer films, followed by their structural, morphological, electrical, and electrochemical characterization. These systems will subsequently be assembled into an organic transistor, which will be electrically characterized.</i></p>
--	--

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	<ul style="list-style-type: none"> – Chandrasekhar, P. (2018). <i>Conducting polymers, fundamentals and applications</i> (p. 850). New York: Springer. – Klauk, H. (2006). <i>Organic Electronics: Materials, Manufacturing and Applications</i>. WILEY-VCH – Petty, M.C. (2018). <i>Organic and Molecular Electronics, From Principles to Practice</i> (2nd Edition). WILEY <p>Gli studenti sono invitati a consultare il materiale didattico aggiuntivo messo a disposizione dal docente, come supporto e integrazione delle attività svolte durante il corso.</p>
<i>English</i>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Chandrasekhar, P. (2018). Conducting polymers, fundamentals and applications (p. 850). New York: Springer.</i> – <i>Klauk, H. (2006). Organic Electronics: Materials, Manufacturing and Applications. WILEY-VCH</i> – <i>Petty, M.C. (2018). Organic and Molecular Electronics, From Principles to Practice (2nd Edition). WILEY</i> <p><i>Students are encouraged to consult the professor's additional teaching materials as a valuable complement to the course activities.</i></p>

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

In presenza

A distanza

Italiano	<p>Il corso è erogato attraverso un approccio integrato che combina lezioni frontali e attività di laboratorio, al fine di favorire sia l'acquisizione sistematica delle conoscenze teoriche sia lo sviluppo delle capacità applicative.</p> <p>Le lezioni frontali sono finalizzate alla presentazione e alla discussione dei contenuti fondamentali della disciplina, con particolare attenzione alla costruzione progressiva dei</p>
-----------------	---

	<p>concetti e al loro inquadramento teorico. Durante tali attività è incoraggiata l'interazione con gli studenti attraverso momenti di confronto e di chiarimento.</p> <p>Le attività di laboratorio, svolte sia individualmente sia in piccoli gruppi, costituiscono un momento centrale del percorso formativo. Tali attività sono progettate per consolidare le conoscenze teoriche attraverso l'esperienza diretta, promuovere il <i>problem solving</i> sperimentale e favorire lo sviluppo di competenze organizzative e collaborative. Gli studenti sono coinvolti nell'esecuzione delle esperienze, nonché nella raccolta e nell'interpretazione dei dati.</p> <p>A completamento delle attività di laboratorio è prevista la redazione di relazioni tecniche, nelle quali gli studenti sono chiamati a descrivere obiettivi, metodologie e risultati e a discutere criticamente i dati ottenuti. Tali elaborati costituiscono uno strumento essenziale per valutare sia il livello di comprensione dei contenuti sia la capacità di applicare in modo autonomo e consapevole le conoscenze acquisite.</p>
<p>English</p>	<p><i>The course is delivered through an integrated approach that combines lectures and laboratory activities, aiming to foster both the systematic acquisition of theoretical knowledge and the development of practical skills.</i></p> <p><i>Lectures are designed to present and discuss the fundamental contents of the discipline, with particular attention to the progressive development of concepts and their theoretical framework. Student interaction is encouraged through discussion and clarification.</i></p> <p><i>Laboratory activities, conducted both individually and in small groups, constitute a central component of the course. They are designed to consolidate theoretical knowledge through hands-on experience, promote experimental problem solving, and foster organizational and collaborative skills. Students are involved in conducting experiments, collecting data, and interpreting data.</i></p> <p><i>Upon completion of the laboratory activities, students are required to prepare technical reports that describe the objectives, methodologies, results, and a critical discussion of the data obtained. These reports represent an essential tool for assessing both the level of understanding and the ability to apply acquired knowledge in an autonomous and informed manner.</i></p>

MODALITÀ DI FREQUENZA

frequenza obbligatoria frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

<p>Italiano</p>	<p>La frequenza al corso non è obbligatoria; tuttavia, la partecipazione alle attività di laboratorio è vincolante ai fini del superamento dell'esame.</p>
<p>English</p>	<p><i>Attendance in the course is not mandatory; however, participation in laboratory activities is compulsory to pass the exam.</i></p>

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

Emanuela Tamburri, Silvia Battistoni, Massimo Longo, Silvia Orlanducci.

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

<p>Italiano</p>	<p>La verifica dell'apprendimento avviene mediante una prova orale finale. Tale prova è finalizzata ad accertare il raggiungimento delle conoscenze e delle competenze attese e consiste in una discussione sugli argomenti inclusi nel programma, nonché nella valutazione delle relazioni relative alle attività di laboratorio.</p> <p>Il voto d'esame, espresso in trentesimi, è determinato come media ponderata delle valutazioni ottenute nelle risposte relative alle principali tematiche del corso e nella redazione delle relazioni di laboratorio.</p> <p>Ai fini della formulazione del giudizio complessivo, si terrà conto dei seguenti criteri: livello di conoscenza degli argomenti trattati, capacità di ragionamento, attitudine al collegamento e all'integrazione con conoscenze pregresse, capacità di applicare la conoscenza e la comprensione, nonché proprietà di linguaggio e correttezza espressiva.</p> <p>La scala di valutazione è definita in coerenza con i risultati di apprendimento attesi (conoscenza e capacità di comprensione; capacità di applicare conoscenza e comprensione; autonomia di giudizio; abilità comunicative), come segue:</p> <p>Non idoneo: Lo studente non dimostra un livello adeguato di conoscenza e comprensione dei contenuti del corso. Sono evidenti significative lacune e imprecisioni, accompagnate da una limitata capacità di applicare le conoscenze, di analizzare le informazioni e di formulare argomentazioni coerenti.</p> <p>18–20: Lo studente dimostra una conoscenza e una comprensione di base dei concetti fondamentali, seppur con alcune imprecisioni. La capacità di applicare le conoscenze, analizzare le informazioni e sviluppare argomentazioni risulta sufficiente ma limitata.</p> <p>21–23: Lo studente dimostra una conoscenza e una comprensione soddisfacenti dei contenuti principali. La capacità di applicare le conoscenze, di analizzare e sintetizzare le informazioni, nonché di esporre argomentazioni, è adeguata e generalmente coerente.</p> <p>24–26: Lo studente dimostra una buona conoscenza e comprensione dei contenuti del corso. La capacità di applicare le conoscenze, di elaborare criticamente le informazioni e di formulare argomentazioni chiare e ben strutturate è ben sviluppata.</p> <p>27–29: Lo studente dimostra una conoscenza e una comprensione approfondite degli argomenti trattati. Le capacità di analisi, sintesi e di pensiero critico sono elevate, con un buon livello di autonomia di giudizio e di chiarezza espositiva.</p>
------------------------	--



	<p>30–30 e lode: Lo studente dimostra una conoscenza e una comprensione eccellenti e complete dei contenuti del corso. Le capacità applicative, di analisi critica e di sintesi sono eccellenti, unite a un elevato grado di autonomia, di originalità e di padronanza espressiva.</p>
English	<p><i>The assessment of learning outcomes is carried out through a final oral examination. This examination is intended to verify the attainment of the expected knowledge and skills and consists of a discussion covering all topics included in the syllabus, as well as the evaluation of the laboratory reports.</i></p> <p><i>The final grade, expressed on a 30-point scale, is determined as a weighted average of the marks obtained in responses related to the main course topics and in the preparation of the laboratory reports.</i></p> <p><i>The evaluation is based on the following criteria: level of knowledge of the course content; reasoning ability; capacity to establish connections and integrate prior knowledge; ability to apply knowledge and understanding; and clarity of expression and appropriate use of language.</i></p> <p><i>The grading scale is defined in alignment with the expected learning outcomes (knowledge and understanding; applying knowledge and understanding; making judgments; communication skills):</i></p> <p>Fail: <i>The student does not demonstrate adequate knowledge and understanding of the course content. Significant gaps and inaccuracies are evident, with limited ability to apply knowledge, analyze information, or formulate coherent arguments.</i></p> <p>18–20: <i>The student demonstrates basic knowledge and understanding of the fundamental concepts, albeit with some inaccuracies. The ability to apply knowledge, analyze information, and express arguments is sufficient but limited.</i></p> <p>21–23: <i>The student demonstrates satisfactory knowledge and understanding of the core topics. The ability to apply knowledge, analyze and synthesize information, and present arguments is appropriate and generally coherent.</i></p> <p>24–26: <i>The student demonstrates good knowledge and understanding of the course contents. The ability to apply knowledge, process information critically, and formulate clear and well-structured arguments is well developed.</i></p> <p>27–29: <i>The student demonstrates thorough knowledge and understanding of the subjects covered. Analytical, synthesis, and critical thinking skills are strong, with a good level of autonomy in judgment and clarity in communication.</i></p> <p>30–30 cum laude: <i>The student demonstrates excellent, comprehensive knowledge and understanding of all course content. The ability to apply knowledge, critically analyze and synthesize information, and express arguments is outstanding, with a high degree of autonomy, originality, and communication effectiveness.</i></p>