

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

CHIMICA DEI SOLIDI E LABORATORIO

CHEMISTRY OF SOLIDS AND LABORATORY

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	CHIMICA
Codice	8068258	Canale	Unico
CFU	9	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

RICCARDO POLINI

CODOCENTE

MASSIMO LONGO

Modulo: Laboratorio / Laboratory

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	<p>OBIETTIVI FORMATIVI:</p> <p>Il comportamento dei materiali trae origine non solo dalla loro struttura atomica e molecolare, ma anche dalla presenza di difetti nella struttura cristallina, sia puntuali che estesi. L'obiettivo del corso è quello di completare la formazione degli studenti con le conoscenze di base sulla struttura e le proprietà dei sistemi in fase solida. A tal fine si individuano - quali argomenti formativi - le tematiche connesse alla classificazione delle strutture cristalline, il loro studio mediante le tecniche di diffrazione dei raggi X, nonché la classificazione dei vari tipi di difetti, puntuali ed estesi. Sono inoltre definite le proprietà elettroniche dei solidi per giungere alla teoria delle bande. Ulteriori scopi dell'insegnamento sono lo sviluppo di conoscenze relative alle reazioni sulle superfici solide, con applicazioni ai processi di catalisi eterogenea, nonché i concetti di trasporto di materia nei solidi e la loro importanza nelle reazioni chimiche allo stato solido, ove svolgono un ruolo importante i difetti.</p> <p>Infine, lo studente dovrà conoscere alcune importanti tecniche strumentali per l'analisi delle proprietà morfologiche, vibrazionali, strutturali e composizionali dei solidi, sia di bulk, sia di superficie.</p> <p>CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE:</p> <p>Al termine del corso studentesse e studenti avranno acquisito conoscenze sulla struttura dei solidi, sui difetti puntuali ed estesi, nonché sulla loro capacità di determinare le proprietà dei materiali, come pure la reattività nelle reazioni allo stato solido e nei processi chimici di superficie. Studentesse e studenti dovranno conoscere le principali tecniche chimico-fisiche di caratterizzazione e studio dei solidi.</p>
-----------------	--

	<p>CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE:</p> <p>Studentesse e studenti dovranno essere in grado di interagire in modo sinergico con professionisti, anche di diversa formazione (ad es. fisici, ingegneri, scienziati dei materiali), che operano nel campo della progettazione, produzione e caratterizzazione dei materiali. Le conoscenze acquisite debbono pertanto permettere a studentesse e studenti di applicare concetti e tecniche strumentali riconoscendone gli ambiti di applicabilità, nonché integrarsi prontamente in contesti lavorativi multidisciplinari, sia in ambito aziendale, sia in attività di ricerca e sviluppo.</p> <p>AUTONOMIA DI GIUDIZIO:</p> <p>Studentesse e studenti dovranno acquisire una sufficiente capacità di giudizio con riferimento alla valutazione e interpretazione di dati sperimentali di laboratorio inerenti sia la caratterizzazione chimico-fisica, sia il comportamento dei materiali.</p> <p>ABILITÀ COMUNICATIVE:</p> <p>Studentesse e studenti saranno in grado di comunicare con tecnici, professionisti e ricercatori attivi nella maggior parte dei campi inerenti alla scienza dei materiali e in molti settori manifatturieri.</p> <p>CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO:</p> <p>Studentesse e studenti acquisiranno capacità adeguate allo sviluppo e all'approfondimento di ulteriori competenze, con riferimento a: consultazione e comprensione di materiale bibliografico, inclusi gli strumenti conoscitivi di base per l'aggiornamento continuo delle conoscenze di scienza dei materiali, nonché consultazione di banche dati, anche on-line.</p> <p>Tali capacità di apprendimento sono altresì funzionali per svolgere la prova finale (Tesi) su tematiche riguardanti la Chimica dello Stato Solido e la Scienza dei Materiali nei suoi aspetti multidisciplinari, e per intraprendere, con consapevolezza e autonomia, successivi studi di approfondimento (Master e/o Dottorato di Ricerca).</p>
English	<p>LEARNING OUTCOMES:</p> <p><i>The behaviour of materials is related to their atomic structure, chemical bonds and defects. The main goal of the Chemistry of Solids course is to provide students with basic knowledge on the structure and properties of solid phase systems. To this end, the topics related to the classification of crystalline structures, their study using X-ray diffraction techniques, as well as the classification of defects, are identified as training topics. The electronic properties of solids, including the band theory, are also introduced. Moreover, reactivity at solid surfaces with emphasis on heterogeneous catalysis, basic concepts of transport in solids and its importance in solid state chemical reactions, where both defects and electronic structure of the solid play an important role, are learning outcomes of the Course. The student will learn several physico-chemical characterization techniques widely used for analyzing morphological, vibrational, structural properties of solids, as well as bulk and surface chemical composition.</i></p>

	<p>KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:</p> <p><i>At the end of the course the student will acquire knowledge on the correlation between structure and properties of materials, with particular emphasis on the role of point and extended defects in determining the properties of crystalline solids. The student will be able to explain the principles of some fundamental techniques used for bulk and surface characterization of materials.</i></p> <p>APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:</p> <p><i>The student must be able to interact with professionals, including those having different backgrounds (e.g. physicists, engineers, materials scientists), and working on design, synthesis and characterization of materials. The acquired knowledge will allow the student to apply both basic concepts and instrumental techniques, recognizing their areas of applicability, as well as promptly integrating into multidisciplinary working contexts, both in the corporate environment and in research and development activities.</i></p> <p>MAKING JUDGEMENTS:</p> <p><i>The student will acquire enough capability of judgment with particular emphasis to the evaluation and interpretation of experimental laboratory data concerning both the chemical-physical characterization and the response of the materials in conditions that mimic real-life applications.</i></p> <p>COMMUNICATION SKILLS:</p> <p><i>The student will be able to interact with technicians, professionals and scientists working in most sectors of material science and manufacturing industry.</i></p> <p>LEARNING SKILLS:</p> <p><i>The student will acquire adequate skills for future growth of her/his background and competence, with reference to: consultation and understanding of bibliographic material, including basic cognitive tools for the continuous updating of knowledge in the field of materials science, consultation of databases, including online archives.</i></p> <p><i>These learning skills are also necessary for the preparation of the final exam (Thesis) on topics concerning both Solid State Chemistry and Materials Science, as well as for undertaking, with awareness and autonomy, subsequent and more advanced studies (Master and/or PhD).</i></p>
--	---

PREREQUISITI

Italiano	Conoscenze delle materie fondamentali delle lauree triennali in Chimica e Fisica, in particolare di Fisica, Matematica, Chimica Generale e Chimica-Fisica.
<i>English</i>	<i>Knowledge of Physics, Mathematics (Calculus), General Chemistry and Physical Chemistry. The requested knowledge is at the level of 3-year university degrees in Chemistry and Physics.</i>

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

<p>Italiano</p>	<p>Il Corso si articola in due sezioni: 6 CFU di Chimica dei Solidi e 3 CFU di Laboratorio.</p> <p>La parte di Chimica dei Solidi è articolata in 5 parti: una prima parte sulle strutture cristalline (8 h); una seconda parte sui difetti puntuali ed estesi (16 h); una terza parte sulla diffrazione di onde da parte dei reticoli (4 h); una quarta parte sulle proprietà elettroniche dei solidi (10 h); una quinta parte sui processi chimici di superficie e allo stato solido (10 h). I programmi dettagliati sono:</p> <p>CHIMICA DEI SOLIDI (6 CFU)</p> <p>PRIMA PARTE (8 h) - Solidi cristallini. Reticoli di Bravais. Indici di Miller. Strutture cristalline dei materiali metallici. Strutture compatte (fcc, hcp). Solidi ionici: ciclo di Born-Haber, espressione di Born-Landé, costante di Madelung. Raggi ionici e limiti di stabilità. Strutture di CsCl, NaCl, ZnS, fluorite. Spinelli, fattore di inversione ed energia di stabilizzazione del campo cristallino (CFSE). Perovskiti. Solidi covalenti. Allotropia.</p> <p>SECONDA PARTE (16 h) - Difetti puntuali. Concentrazione di equilibrio di difetti puntuali. Conducibilità ionica. Elettroliti solidi (sonda lambda). Centri di colore.</p> <p>Difetti di linea. Dislocazioni, vettore di Burgers, sistemi di scorrimento, interazioni tra dislocazioni, interazioni dislocazioni-difetti puntuali.</p> <p>Difetti di superficie: difetti di impilamento (stacking faults), geminazione (twins), bordi di grano a basso e alto angolo. Reticoli a siti coincidenti.</p> <p>Difetti di volume: inclusioni, precipitati, porosità.</p> <p>Interazioni tra difetti estesi: interazioni dislocazioni-bordi di grano (legge di Hall-Petch), interazione dislocazioni-precipitati (Zener drag).</p> <p>TERZA PARTE (4 h) - Diffrazione di onde da parte dei reticoli cristallini. Reticolo reciproco. Sfera di Ewald. Intensità della radiazione diffratta. Fattore di struttura.</p> <p>QUARTA PARTE (10 h) - Generalità sulle proprietà elettroniche dei solidi. Elettrone in una scatola. Gas di Fermi a 0 K. Gas di Fermi a $T > 0$ K. Capacità termica del gas di elettroni. Conducibilità elettrica e legge di Ohm. Elettrone in un potenziale periodico. Teoria delle bande. Emissione termoionica e funzione lavoro.</p> <p>Semiconduttori. Livelli di Fermi nei semiconduttori. Conducibilità elettrica nei semiconduttori. Semiconduttori a gap diretta e indiretta.</p> <p>QUINTA PARTE (10 h) - Isotherme di adsorbimento. Reazioni chimiche sulle superfici di solidi. Cinetiche unimolecolari e bimolecolari. Meccanismi di Langmuir-Hinshelwood (LH) e di Eley-Rideal (ER). Esempi di catalisi eterogenea. Proprietà catalitiche di ossidi semiconduttori.</p> <p>Movimenti di atomi. Reazioni controllate dalla diffusione. Reazioni di opacizzazione (<i>tarnish reactions</i>). Altri esempi di reazioni tra solidi.</p> <p>LABORATORIO (3 CFU)</p> <p>Lezioni frontali sulle tecniche per la caratterizzazione dei solidi (18 h): microscopia elettronica a scansione (SEM), microanalisi EDX, catodoluminescenza (CL), spettroscopia infrarossa</p>
------------------------	---



	<p>(IR) e Raman, diffrazione di raggi-X (XRD), fluorescenza di raggi-X (XRF), spettrometria di massa di ioni secondari (SIMS), spettroscopia di fotoelettroni (XPS).</p> <p>Esperienze di Laboratorio (9 h) su tecniche di spettroscopia Raman, SEM-EDX, XRD e XPS.</p>
English	<p><i>The course is divided into two sections: 6 CFU of Chemistry of Solids, and 3 CFU of Laboratory.</i></p> <p><i>The Chemistry of Solids section is divided into 5 parts: a first part on crystalline structures (8 hours); a second part on punctual and extensive defects (16 h); a third part on the diffraction of waves by gratings (4 h); a fourth part on the electronic properties of solids (10 h); a fifth part on surface and solid state chemical processes (10 h). The detailed programs are:</i></p> <p>CHEMISTRY OF SOLIDS</p> <p><i>PART 1 (8 h) - Crystalline solids. Bravais lattices. Miller indices. Crystalline structures of metallic materials. Compact structures (fcc, hcp). Ionic solids: Born-Haber cycle, Born-Landé expression, Madelung constant. Ionic radii and stability limits. Structures of CsCl, NaCl, ZnS, fluorite. Spinels, inversion factor and crystal field stabilization energy (CFSE). Perovskites. Covalent solids. Allotropy.</i></p> <p><i>PART 2 (16 h) - Point defects. Equilibrium concentration of point defects. Ionic conductivity. Solid electrolytes (lambda probe). Color centers.</i></p> <p><i>Line defects. Dislocations, Burgers vector, slip systems, interactions between dislocations, dislocation-point defect interactions.</i></p> <p><i>Surface defects: stacking faults, twins, low and high angle grain boundaries. Lattices with coincident sites.</i></p> <p><i>Volume defects: inclusions, precipitates, porosity.</i></p> <p><i>Interactions between extended defects: dislocation-grain boundary interactions (Hall-Petch law), dislocation-precipitate interaction (Zener drag).</i></p> <p><i>PART 3 (4 h) - Diffraction of waves by crystal lattices. Reciprocal lattice. Ewald sphere. Intensity of the diffracted radiation. Structure factor.</i></p> <p><i>PART 4 (10 h) - Introduction to the electronic properties of solids. Electron in a box. Fermi gas at 0 K. Fermi gas at $T > 0$ K. Heat capacity of the electron gas. Electrical conductivity and Ohm's law. Electron in a periodic potential. Band theory. Thermionic emission and work function.</i></p> <p><i>Semiconductors. Fermi levels in semiconductors. Electrical conductivity in semiconductors. Direct-bandgap and indirect-bandgap semiconductors.</i></p> <p><i>PART 5 (10 h) - Absorption isotherms. Chemical reaction at solid surfaces. Unimolecular and bimolecular kinetics at the solid surface. Langmuir-Hinshelwood (LH) and Eley-Rideal (ER) mechanisms. Examples of catalytic processes at solid surfaces. Catalytic properties of semiconducting oxides.</i></p> <p><i>Movements of atoms. Diffusion-controlled reactions. Tarnish reactions. Additional examples of solid-state chemical reactions.</i></p> <p>LABORATORY (26 h)</p>

	<p><i>Lectures on techniques for the characterization of solids (18 hours): scanning electron microscopy (SEM), EDX microanalysis, cathodoluminescence (CL), infrared (IR) and Raman spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), secondary ion mass spectrometry (SIMS), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS).</i></p> <p><i>Laboratory experiments (8 h) on Raman spectroscopy, SEM-EDX, XRD, and XPS techniques.</i></p>
--	---

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	<p>Materiale didattico fornito dai docenti contenente tutte le slide proiettate a lezione nonché file pdf scaricabili da Didattica Web 2 e Teams. Relativamente al pdf (280 pagine) "Appunti di Chimica dei Solidi e dei Materiali" curato dal docente di riferimento, gli studenti dovranno studiare i capitoli 1-4, 10 e 11.</p> <p>Gli studenti potranno approfondire in via facoltativa gli argomenti del corso sui seguenti testi:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) A. West, "Solid State Chemistry and its Applications", John Wiley & Sons (2014). 2) Y. Leng, "Materials Characterization – Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods, Wiley (2013)
<i>English</i>	<p><i>Teaching materials provided by the lecturers, containing all the slides shown in class as well as PDF files available for download from Didattica Web 2 and Teams. With regard to the 280-page PDF "Appunti di Chimica dei Solidi e dei Materiali" compiled by the course lecturer, students are required to study chapters 1–4, 10 and 11.</i></p> <p><i>Students may optionally explore the course topics in greater depth using the following textbooks:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) A. West, "Solid State Chemistry and its Applications", John Wiley & Sons (2014). 2) Y. Leng, "Materials Characterisation – Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods", Wiley (2013).

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

In presenza

A distanza

Italiano	<p>Lezioni frontali in aula, integrate da esperienze di laboratorio.</p> <p>Agli studenti verranno forniti articoli tratti dalla letteratura scientifica, che saranno discussi collegialmente durante le lezioni in aula.</p>
<i>English</i>	<p><i>Classroom lessons integrated with laboratory experiences.</i></p> <p><i>Students will be provided with articles taken from scientific literature, which will be discussed collectively during classroom lessons.</i></p>

MODALITÀ DI FREQUENZA

frequenza obbligatoria frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	<p>Lezioni frontali in aula, integrate da esperienze di laboratorio (SEM, EDS, spettroscopia Raman, XRD, XPS).</p> <p>Agli studenti verranno forniti articoli tratti dalla letteratura scientifica, che saranno discussi collegialmente durante le lezioni in aula.</p>
English	<p><i>Classroom lessons integrated with laboratory experiences (SEM, EDS, Raman spectroscopy, XRD, XPS).</i></p> <p><i>Students will be provided with articles taken from scientific literature, which will be discussed collectively during classroom lessons.</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

Riccardo Polini, Massimo Longo, Massimo Tomellini

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	<p>L'esame consiste in un colloquio orale volto a verificare il livello di conoscenza degli argomenti trattati.</p> <p>La discussione inizia con una domanda su argomenti riguardanti strutture cristalline e tipologie di difetti reticolari. In seguito, vengono proposte altre due domande su ulteriori argomenti del programma.</p> <p>Infine, viene discussa una relazione preparata dalla studentessa/studente su una delle esperienze di laboratorio.</p> <p>Per superare l'esame occorre riportare un voto non inferiore a 18/30; più in particolare, la votazione è così determinata:</p> <p>18-21, se la studentessa/studente ha acquisito i concetti di base della disciplina, modo di esprimersi e linguaggio sufficientemente corretti e appropriati;</p> <p>22-25, se la studentessa/studente ha acquisito in maniera approfondita i concetti di base della disciplina, ed è adeguatamente in grado di effettuare i collegamenti fra i vari argomenti che esprime con linguaggio appropriato e corretto;</p> <p>26-29, qualora la studentessa/studente dimostri di possedere un bagaglio di conoscenze completo e ben organizzato, essendo in grado sia di applicare e rielaborare in maniera autonoma, senza alcun errore, le conoscenze acquisite, sia di evidenziare capacità logico-analitiche con un linguaggio, anche matematico, appropriato e rigoroso;</p>
----------	---



	<p>30 e 30 e lode, se la studentessa/studente possiede un bagaglio di conoscenze approfondito che sa applicare anche a casi e problemi complessi, nonché a situazioni nuove, esprimendosi con brillantezza e perfetta proprietà di linguaggio oltre a padroneggiare gli strumenti matematici a fondamento della disciplina.</p> <p>È garantita equità di trattamento: i criteri valutativi non presentano discriminazioni tra studentesse/studenti frequentanti e non frequentanti.</p>
English	<p><i>The exam consists of an oral interview aimed at verifying the level of knowledge of the topics covered in class.</i></p> <p><i>The discussion begins with a question on topics regarding crystalline structures and lattice defects. Two more questions are then proposed on further topics.</i></p> <p><i>Finally, a report prepared by the student on one of the laboratory experiences will be discussed.</i></p> <p><i>To pass the exam, a grade of not less than 18/30 must be obtained; more specifically, the vote is determined as follows:</i></p> <p><i>18-21, if the student has acquired the basic concepts of the discipline, with sufficiently correct and appropriate language;</i></p> <p><i>22-25, if the student has acquired the basic concepts of the discipline in depth, and is adequately able both to make connections between the various topics and to explain concepts with appropriate and correct language;</i></p> <p><i>26-29, if the student has a complete and well-organized background of knowledge, being able both to apply and re-elaborate independently, without any error, the acquired knowledge, and to highlight logical-analytical skills with an appropriate and rigorous mathematical language;</i></p> <p><i>30 and 30 cum laude, if the student has a complete and in-depth knowledge that can be applied to complex cases and new situations as well; the student must explain the topics brilliantly with perfect language properties, as well as mastering the mathematical tools at the basis of the discipline.</i></p> <p>Fair treatment is guaranteed: the evaluation criteria do not discriminate between students who attended classes and those who did not.</p>