

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Chimica dei Solidi con Laboratorio

SOLID STATE CHEMISTRY WITH LABORATORY

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	SCIENZA DEI MATERIALI
Codice	8067257	Canale	Unico
CFU	8	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

MASSIMO TOMELLINI

CODOCENTE

MASSIMO LONGO

Modulo: Laboratorio

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI Il corso è volto a fornire una solida formazione di base di Chimica dello Stato Solido nell'ambito della Scienza dei Materiali che, per sua natura, richiede una equilibrata composizione di conoscenze di fisica e di chimica. L'obiettivo del corso è quello di completare la formazione scientifica 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 mediante le tecniche di diffrazione dei raggi X; l'analisi delle proprietà e della struttura dei solidi in equilibrio termodinamico; lo studio delle strutture difettive dei solidi; la teoria del trasporto di materia nei solidi; l'analisi del comportamento dei solidi in condizioni di non-equilibrio nelle reazioni chimiche allo stato solido. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensione Le lezioni vertono sulle proprietà e la struttura dei solidi cristallini perfetti e difettivi, la loro caratterizzazione mediante tecniche spettroscopiche, e i principali processi che si verificano in condizioni di non-equilibrio termodinamico. Il corso intende fornire allo studente gli strumenti di base necessari per comprendere le proprietà macroscopiche (termodinamiche) dei solidi in termini di una descrizione microscopica e i meccanismi che sono alla base delle reazioni chimiche dei solidi. Le conoscenze interdisciplinari che caratterizzano il corso sono in armonia con la natura interdisciplinare del corso di Scienza dei Materiali che induce gli studenti ad integrare ed armonizzare nozioni provenienti da ceppi culturali differenti (Chimica e Fisica).
----------	--

	CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRENSIONE Lo studente dovrà esser in grado di individuare la tecnica spettroscopica adeguata alla caratterizzazione di un sistema solido, in base alla classificazione delle strutture cristalline. Dovrà mostrare di aver compreso le diverse tipologie di solido sotto la prospettiva delle interazioni tra costituenti (legame chimico). Dovrà essere in grado di descrivere le principali proprietà dei solidi mediante l'impiego della termodinamica e di una modellizzazione atomistica con particolare riferimento ai processi chimici e fisici che sono alla base della loro interazione con altre fasi, siano esse solide o gassose. Lo studente sarà anche in grado di affrontare problemi scientifici nuovi e di leggere testi in inglese su argomenti di chimica dei solidi connessi alla scienza dei materiali. AUTONOMIA DI GIUDIZIO Agli studenti viene richiesta la capacità di utilizzare le conoscenze acquisite in maniera critica, nello specifico per la caratterizzazione chimico-fisica di un solido, mediante la determinazione delle sue proprietà strutturali, termodinamiche e di trasporto, al fin di valutarne le caratteristiche per un appropriato impiego nel campo della scienza dei materiali. ABILITÀ COMUNICATIVE Viene prestata particolare attenzione alla capacità di utilizzare, in maniera appropriata e in un contesto concettualmente coerente e rigoroso, i termini acquisiti nel corso delle lezioni. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO Stimolare ed indirizzare gli studenti all'uso di testi specialistici, anche al fine di apprendere il medesimo argomento da più di una fonte, approfondendone così la comprensione e ampliando, al contempo, la capacità di analisi dello studente. In questo contesto viene fortemente consigliata la lettura di alcuni articoli originali, "storici", che hanno contribuito, in maniera determinante, allo sviluppo della Chimica e della Fisica dello stato solido.
English	LEARNING OUTCOMES The aim of the course is to complete the scientific learning of the students with the fundamental knowledge on the structure and properties of the systems at the solid state. To this end, we single out - as educational topics - those related to the classification of solid structures, their characterization by means of X-ray diffraction and the analysis of the properties of solids under thermodynamic equilibrium, including defect structures. In addition, the study of the transport of matter in the solid state, together with the analysis of chemical reactions under non-equilibrium conditions, is a significant topic of the present course. KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING The main topics of the lessons are the structure of perfect and defective crystalline solids, their characterization by spectroscopic techniques and the fundamental processes which take

	place under non-equilibrium conditions. The present course is aimed at providing the students with those tools necessary for a deep comprehension of the thermodynamic properties of solids in terms of an atomistic description and the mechanisms of chemical reactions at the solid state. APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING The student should be capable to single out the suitable spectroscopic technique for the characterization of solids, in connection with the classification of crystalline structures. They should understand the differences between solids in terms of interactions among their constituents, i.e. chemical bonds. In addition, the student should be capable of describing the properties of solids by means of thermodynamics as well as by atomistic modelings, with particular emphasis to the processes ruling the chemical interactions with other solids or gas phases. MAKING JUDGEMENTS The students should have the skill to employ the knowledge acquired during the course of Solid State Chemistry to characterize a solid system, both from the chemical and physical perspectives. In particular, they should be able to identify the thermodynamic and transport properties of the solids aimed at finding its best application in the field of materials science. COMMUNICATION SKILLS We pay particular attention to the appropriate usage of the scientific terminology typical of the subject matter and to the context in which it is employed, that should be conceptually rigorous and correct. LEARNING SKILLS The Students are encouraged to use specialized textbooks also for studying the same topics. This is for a better learning of the matters and, at the same time, for improving their critical analysis. In this context, during the solid state chemistry course we strongly suggest the students to read original papers which provided fundamental insight into some topics of the physical Chemistry of Solids.
--	---

PREREQUISITI

<i>Italiano</i>	Nozioni di base di calcolo differenziale ed integrale, di chimica e fisica generale e di chimica-fisica.
<i>English</i>	Basic notions of differential and integral calculation, general chemistry and physics and chemistry-physics.

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Strutture cristalline Reticoli cristallini. Reticoli di Bravais. Cella primitiva unitaria e convenzionale. Cella di Wigner e Seitz. Il reticolo reciproco. Diffrazione dei raggi X e determinazione delle strutture cristalline. (14 ore). [cap 1, R.J. Borg, G.J. Dienes: "The physical Chemistry of solids" Academic Press, Oppure cap.1,2,3 Tomellini "Appunti di chimica fisica dello stato solido" Aracne Editrice, Solid Ashcroft, Mermin, "State Physics"] Energetica dei solidi Coesione dei solidi ionici, dei metalli e dei cristalli di gas nobili. Stabilità delle strutture di: NaCl, CsCl e ZnS. Raggio ionico e stabilità. Elementi di meccanica statistica. Calore specifico dei solidi. Espansione termica. Compressibilità. Equazione di stato. (15 ore). [cap.5,7 R.J. Borg, G.J. Dienes: "The physical Chemistry of solids" Academic Press, oppure cap.3, 5 M. Tomellini "Appunti di chimica fisica dello stato solido" Aracne Editrice] Diffetti termodinamici nei solidi Termodinamica dei difetti di punto. Difetti di Frenkel e di Scottky. Equilibri tra difetti e reazioni gas-solido. Ossidi semiconduttori.(7 ore) [cap.5 M. Tomellini "Appunti di chimica fisica dello stato solido" Aracne Editrice, oppure cap.12 R.J. Borg, G.J. Dienes: "The physical Chemistry of solids" Academic Press] Solidi in condizioni di non equilibrio Trasporto di materia nei solidi. Leggi di Fick. Il "random walk". Equazioni di trasporto generalizzate. Coefficiente di diffusione chimico. Equazione di Nernst-Einstein. Sensori elettrochimici a stato solido. Ossidazione dei metalli, diagramma di Ellingham. Cinetica di ossidazione dei metalli. Teoria di Wagner. (12 ore) [cap. 6,7 M. Tomellini "Appunti di chimica fisica dello stato solido" Aracne Editrice, oppure cap.13 R.J. Borg, G.J. Dienes: "The physical Chemistry of solids" Academic Press]
----------	---

	Laboratorio (24 h) Tecniche per la caratterizzazione dei solidi: SEM (Scanning Electron Microscopy), EDX (Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy), CL (Cathodo-luminescence), IR (Infra Red) spectroscopy, RAMAN spectroscopy, XRD (X-ray Diffraction), XRF (X-ray Fluorescence), SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry).
English	Crystal Structures Crystal lattices. Bravais lattices. Primitive and conventional cells. Wigner and Seitz cell. The reciprocal lattice. X-ray diffraction and the determination of crystal structures. (14h) [chap 1, R.J. Borg, G.J. Dienes: "The physical Chemistry of solids" Academic Press, or chap.1,2,3 M. Tomellini "Note on Solid State Physical Chemistry " Aracne Editrice "(in Italian), Solid Ashcroft, Mermin, "State Physics"] Energetics of Solids Cohesion of metal, molecular and ionic solids. Structure and stability of NaCl, CsCl and ZnS ionic radii. Elements of Statistical thermodynamics. Specific heat of solids. Thermal expansion. Compressibility and the equation of state. (15h) [chap.5,7 R.J. Borg, G.J. Dienes: "The physical Chemistry of solids" Academic Press, or chap.3, 5 M. Tomellini "Note on Solid State Physical Chemistry " Aracne Editrice "(in Italian)] Defects in solids Thermodynamics of point defects. Frenkel and Schottky defects. Equilibria between defects and gas solid reactions. Semiconductor oxides. (7h) [chap.5 M. Tomellini "Note on Solid State Physical Chemistry " Aracne Editrice "(in Italian), or cap.12 R.J. Borg, G.J. Dienes: "The physical Chemistry of solids" Academic Press] Solids under non equilibrium conditions Mass transport in solids. I and II Fick's Laws. The random walk. Generalized transport equations. Chemical diffusion coefficient. The Nernst-Einstein equation. Solid state electrochemical sensors. Oxidation of metals. Ellingham diagram. Kinetics of metal oxidation. Wagner theory. (12 h)

	[chap. 6,7 M. Tomellini “Note on Solid State Physical Chemistry “ Aracne Editrice “(in Italian), ore cap.13 R.J. Borg, G.J. Dienes: “The physical Chemistry of solids” Academic Press] Laboratory Techniques for the characterization of solids: SEM (Scanning Electron Microscopy), EDX (Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy), CL (Cathode Luminescence), IR (Infra Red Spectroscopy), XRD (X-ray Diffraction).
--	---

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	Solid State Physics di Ashcroft e Mermin; R.J. Borg, G.J. Dienes: “The physical Chemistry of solids” Academic Press ; H. Ibach , H. Lüth “Solid state physics: an introduction to principles of materials science”, Springer; M. Tomellini “Appunti di chimica fisica dello stato solido “ Aracne Editrice
English	Solid State Physics di Ashcroft e Mermin; R.J. Borg, G.J. Dienes: “The physical Chemistry of solids” Academic Press ; H. Ibach, H. Lüth “Solid state physics: an introduction to principles of materials science”, Springer; M. Tomellini “Note on Solid State Physical Chemistry “ Aracne Editrice “(in Italian)

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Didattica frontale condotta prevalentemente in aula mediante uso della lavagna. Gli argomenti sono trattati su base quantitativa dove risulta indispensabile lo strumento matematico. Il ricorso a mezzi audiovisivi è limitato alla discussione di grafici, strutture geometriche, tabelle di dati e per la spiegazione delle prove di laboratorio.
English	Frontal lessons will be mainly provided by the instructor by using the blackboard. This is due to the fact that the topics faced during the course are discussed, quantitatively, through extensive mathematical developments. The use of audiovisual media is confined to the presentation of graphs, geometrical structures, data table and laboratory experiences.

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	La frequenza al corso è resa facoltativa, benché gli studenti siano fortemente incoraggiati a frequentare con continuità le lezioni. Le lezioni sono svolte in aula unitamente alle lezioni
----------	---

	relative alla spiegazione delle prove di laboratorio. Queste ultime sono eseguite nei diversi laboratori ubicati nei dipartimenti di Chimica e di Fisica.
English	The attendance to the course is not compulsory, although we strongly encourage the students to follow the lessons with continuity. Lessons are provided in the classroom and the laboratory experiences are carried out in laboratories located in the Physics and Chemistry departments.

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

OLTRE AL TITOLARE MASSIMO TOMELLINI, 1 o 2 fra i seguenti esperti nel settore MASSIMO LONGO, RICCARDO POLINI

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La verifica dell'apprendimento prevede una prova d'esame orale. Per la parte del corso relativa alle esperienze di laboratorio lo studente deve presentare una tesina che costituirà, in parte, argomento della prova di valutazione. I criteri che sono alla base della verifica sono i seguenti: Nel corso della prova saranno valutate: • La capacità di esposizione, con adeguata proprietà di linguaggio, degli argomenti della chimica dei solidi; • La capacità di utilizzare il formalismo matematico nella derivazione delle equazioni che sono alla base della descrizione delle proprietà chimico-fisiche e dei processi caratteristici della chimica dello stato solido; • La capacità di elaborare ragionamenti su problemi dello stato solido che richiedono una interconnessione tra i diversi argomenti svolti sulle proprietà dei solidi in condizione di equilibrio e non. Per il superamento dell'esame è richiesto un voto non inferiore a 18/30. La valutazione sarà effettuata secondo i seguenti criteri: • Non idoneo: conoscenza insufficiente degli argomenti fondamentali dello stato solido e limitata capacità di interpretazione delle proprietà fisiche dei materiali cristallini e dei relativi modelli teorici. • 18-20: conoscenza essenziale dei contenuti dell'insegnamento; comprensione sufficiente dei principali concetti relativi alla fisica dei materiali cristallini, pur in presenza di imprecisioni espositive e limitata autonomia nell'applicazione dei modelli teorici. • 21-23: conoscenza adeguata degli argomenti trattati; capacità di descrivere correttamente i principali modelli della fisica e chimica dello stato solido e di applicarli a sistemi cristallini semplici.
----------	--

	• 24-26: buona conoscenza dei contenuti dell'insegnamento e buona capacità di analisi e sintesi; uso corretto del formalismo teorico e adeguata capacità di collegare struttura cristallina e proprietà fisiche dei materiali. • 27-29: conoscenza completa e approfondita degli argomenti; buona autonomia nell'analisi critica delle proprietà di trasporto, e termodinamiche dei materiali cristallini e nell'utilizzo dei modelli teorici trattati. • 30-30 e lode: eccellente padronanza degli argomenti trattati, elevata capacità di rielaborazione critica e autonoma dei contenuti, esposizione rigorosa e utilizzo appropriato del linguaggio scientifico, con piena comprensione delle relazioni tra struttura cristallina e proprietà fisiche e chimiche dei solidi
English	The verification of the learning outcomes consists in an oral examination. As far as the laboratory section is concerned, the students should elaborate a written report on a specific topic that will be discussed during the examination. The verification criteria used to check the learning outcomes are the followings. During the examination, the following will be evaluated: • the ability to use the theoretical models introduced during the course to interpret the structural, electronic, optical, and vibrational properties of crystalline materials; • the ability to connect mathematical formalism with physical and chemical interpretation; • independent judgment in the analysis of the phenomena at the solid state; • The ability to elaborate reasoning on solid state problems that require an interconnection between the different topics covered on the properties of solids in equilibrium and non equilibrium. To pass the exam, a minimum grade of 18/30 is required. The evaluation will be carried out according to the following criteria: • Not passed: insufficient knowledge of the fundamental topics of the course and limited ability to interpret the physical properties of crystalline materials and the related theoretical models. • 18-20: basic knowledge of the course content; sufficient understanding of the main concepts of solid state chemistry, although with inaccuracies in exposition and limited autonomy in applying theoretical models. • 21-23: adequate knowledge of the topics covered; ability to correctly describe the main models of solid state physics and chemistry and apply them to simple crystalline systems. • 24-26: good knowledge of the course content and good ability in analysis and synthesis; correct use of theoretical formalism and adequate ability to connect crystal structure with physical properties of materials. • 27-29: Comprehensive and in-depth knowledge of the topics covered; good autonomy in the critical analysis of the transport and thermodynamic properties of crystalline materials and in the use of the theoretical models covered. • 30-30 with honors: excellent mastery of the topics covered, high capacity for critical and independent re-elaboration of the content, rigorous exposition and

	appropriate use of scientific language, with full understanding of the relationships between crystal structure and physical properties of solids.
--	--