DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Chimica dei Solidi 2

SOLID STATE CHEMISTRY 2

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	**CdS**	SCIENZA E TECNOLOGIE DEI MATERIALI
Codice	8068721	**Canale**	Unico
CFU	6	**Lingua**	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

MASSIMO TOMELLINI

CODOCENTE

Modulo:

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano

OBIETTIVI FORMATIVI

L'obiettivo del corso è quello di completare la formazione scientifica degli studenti con conoscenze avanzate nell' ambito della chimica dei solidi e di alcuni processi allo stato solido di rilevante importanza per la formazione dei materiali. A tal fine si individuano-quali argomenti teorici formativi che devono risultare ben acquisiti dagli studenti alla fine del corso-l'approccio termodinamico per lo studio dei sistemi non omogenei, vale a dire delle interfasi, l' adsorbimento dei gas sulle superfici dei solidi e la teoria della nucleazione e della crescita di nuove fasi in soluzioni solide metastabili. Unitamente agli argomenti del corso di solidi I, il presente corso fornisce agli studenti ulteriori cognizioni e strumenti teorici appropriati allo studio dei processi in fase solida.

CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPRENSIONE

Le lezioni vertono sulle proprietà delle interfasi tra solidi, delle leghe metalliche e, in generale, dei sistemi a due componenti. Il corso intende fornire allo studente gli strumenti di base necessari per comprendere e descrivere le proprietà termodinamiche di questi sistemi in condizioni di equilibrio e di non equilibrio. Con riferimento a questo ultimo aspetto, il corso fornisce agli studenti la capacità di modellizzare la cinetica delle trasformazioni di fase per nucleazione a crescita e per decomposizione spinodale. 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 comprendere le diverse proprietà delle interfasi tra sistemi allo stato condensato e tra superfici solide e fasi gassose. Dovrà essere in grado di descriverne le principali proprietà 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. Dovrà essere in grado di descrivere la cinetica delle trasformazioni di fase e di caratterizzarle su base morfologica. 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 delle interfasi dei solidi, e delle trasformazioni di fase che si verificano allo stato solido. Queste permettono una più completa valutazione delle caratteristiche del solido, utile al fine di un appropriato impiego del solido 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. **CAPACITA' DI APPRENDIMENTO** l 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 che hanno contribuito, in maniera determinante, allo sviluppo della Chimica e della Fisica dello stato solido.
English	**LEARNING OUTCOMES** The present course teaches the fundamental approaches and ideas for understanding the processes occurring at the solid state. The aim of the course is to complete the scientific education of the students with the knowledge of advanced topics in the field of solid state chemistry. The main topics of the course include the thermodynamic approach for studying non-homogeneous systems that is, the interface, the classical theory of nucleation and growth of new phases in systems far from equilibrium and the adsorption of gases on solid surfaces. The last argument is important in connection to catalysis. **KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING** The main topics of the lessons include the study of the properties of interfaces between solids, alloys and, in general, of two componets systems. The present course is aimed at providing the students with those tools necessary for a deep comprehension of the thermodynamic properties of these systems under equilibrium and non-equilibrium conditions. As far as the last topic is concerned, the course gives the students the ability to

	model the kinetics of phase transformations by either nucleation and growth or by spinodal decomposition. **APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING** The students should be capable to single out the properties of interfaces between systems at the solid state and between solid surfaces and gas phases. They should be able to describe the main properties of these systems by means of a thermodynamic and atomistic approaches. The course should provide the students with the competence for modeling the kinetics of phase transformations by nucleation and growth and within the spinodal as well. **MAKING JUDGEMENTS** The students should have the skill to employ the knowledge acquired during the course of Solid State Chemistry 2 to characterize the interfaces of solids and the phase transformations at the solid state. This knowledge is useful for a better judgement of the characteristic of the solids needed for a suitable 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

Italiano	Nozioni di base di calcolo differenziale ed integrale, chimica-fisica e di chimica dello stato solido.
English	Fundamentals in calculus, physical chemistry and solid-state chemistry.

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Interfasi Termodinamica delle interfasi: proprietà di eccesso; energia libera di eccesso; proprietà di eccesso relative; isoterma di adsorbimento; tensione superficiale. Teorema di Wulff. Energia libera in sistemi non omogenei: diagrammi di fase G-X; teoria di Chan-Hilliard per la determinazione dell'' energia libera d'eccesso e dei profili di composizione. Effetto Kirkendall. Funzione lavoro dei metalli. (27 h) Interazione Gas-superfice Adsorbimento: Ensemble gran canonico; Isoterma di Langmuir e di Brunauer-Emmett-Teller (BET); Curve adiabatiche e diabatiche; cinetica di adsorbimento; coefficiente di sticking. (10h) Trasformazioni di fase Transizioni di fase: Processi di nucleazione e crescita; nucleazione "classica" e termodinamica della nucleazione. Decomposizione spinodale (cinetica). Cinetica di nucleazione: soluzione di "quasi-equilibrio" e di stato stazionario. Nucleazione eterogenea. Modelli per la nucleazione "non-classica". Cinetica delle transizioni di fase: la teoria di Kolmogorov-Johnson-Mehl-Avrami. Termodinamica e cinetica della decomposizione spinodale. (11h)
English	Interfaces Thermodynamics of interfaces: Gibbs model of interfaces; excess quantities; excess free energy of an interface; isotherm of adsorption (Gibbs); surface tension. The Wulff theorem. G-X diagrams. Chan-Hilliard theory for the free energy of non -homogeneous systems (two components); composition profile. Kirkendall effect. The work function(27 h)

	Gas-solid surface interactions Gas adsorption at solid surfaces: Grand canonical ensemble; Langmuir adsorption isotherm; BET (Brunauer-Emmett-Teller) adsorption isotherm; adiabatic and diabatic curves; adsorption kinetics; sticking coefficient. (10 h) Phase transformation in solids Phase transitions: classical and non-classical theory of nucleation; thermodynamic and kinetic aspects; homogeneous and heterogeneous nucleation; growth law of the nuclei. Phase transition kinetics: the theory of Kolmogorov-Johnson-Mehl-Avrami. Thermodynamics and kinetics of the spinodal decomposoition.(11 h)

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	1-R.J. Borg, G.J. Dienes: "The physical Chemistry of solids" Academic Press 2-T.Hill Statistical Thermodynamics (Dover) 3-M. Tomellini "Appunti di chimica fisica dello stato solido " Aracne Editrice " 4-Appunti del corso (disponibili su Teams) 5- J. Cahn, J.E. Hilliard, J Chem Phys 28 (1958) 258
English	1-R.J. Borg, G.J. Dienes: "The physical Chemistry of solids" Academic Press 2-T.Hill Statistical Thermodynamics (Dover) 3-M. Tomellini "Appunti di chimica fisica dello stato solido " Aracne Editrice" 4- Lecture Notes of the course 5- J. Cahn, J.E. Hilliard, J Chem Phys 28 (1958) 258

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 esperimenti.
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 è facoltativa anche se è fortemente raccomandato agli studenti di seguire e partecipare alle lezioni in aula.
English	It is not compulsory for the students to follow the lessons. However, the teacher strongly encourage the students to participate to the lessons.

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. I criteri che sono alla base della verifica sono i seguenti: • 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 solidi e dei processi caratteristici della chimica dei solidi ed interfasi; • La capacità di elaborare ragionamenti su problemi dello stato solido che richiedono una interconnessione tra i diversi argomenti svolti sulle proprietà e le trasformazioni di fase dei solidi. 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 dei materiali cristallini e dei relativi modelli teorici. • **18-20**: conoscenza essenziale dei contenuti dell'insegnamento; comprensione sufficiente dei principali concetti relativi alla chimica e alle trasformazioni dei solidi, 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 dei solidi e delle interfasi e di applicarli a sistemi 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 descrivere e interpretare le proprietà e le trasformazioni dei solidi. • **27-29**: conoscenza completa e approfondita degli argomenti; buona autonomia nell'analisi critica delle proprietà e delle trasformazioni allo stato solido 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 dei processi di trasformazione dei solidi, delle loro interazioni con i gas e con altre fasi.
English	The learning assessment includes an oral exam. The assessment is based on the following criteria: • The ability to present, with adequate linguistic propriety, the topics of solid chemistry; • The ability of using mathematical formalism in the derivation of the equations that form the basis of the description of the chemical-physical properties of solids and of the characteristic processes of the chemistry of solids and interphases; • The ability to elaborate reasoning on solid state problems that require an interconnection between the different topics covered on the properties and phase-transformations of solids. 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 solid state and limited ability to interpret the properties of crystalline materials and related theoretical models. • **18–20:** Essential knowledge of the course content; sufficient understanding of the main concepts relating to chemistry and solid-state transformations, despite some inaccuracies in the presentation and limited autonomy in applying theoretical models. • **21–23:** adequate knowledge of the topics covered; ability to correctly describe the main models of the physics and chemistry of solids and interfaces and apply them to simple systems. • **24–26:** Good knowledge of the course content and good analytical and synthesis skills; correct use of theoretical formalism and adequate ability to describe and interpret the properties and transformations of solids. • **27–29:** Comprehensive and in-depth knowledge of the topics covered; good autonomy in the critical analysis of solid-state properties and transformations and in the use of the theoretical models covered. • **30–30** with honors: Excellent command of the topics faced a high level of critical and independent re-elaboration of the content, rigorous presentation, and appropriate use of scientific language, with a full understanding of the transformation processes of solids, their interactions with gases, and different phases.