

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

PREPARAZIONE, STRUTTURA E PROPRIETÀ DI MATERIALI SINTERIZZATI

PREPARATION, STRUCTURE AND PROPERTIES OF SINTERED MATERIALS

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	Scienza dei Materiali
Codice	8067463	Canale	Unico
CFU	3	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Riccardo Polini

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: Il comportamento dei materiali trae origine non solo dalla loro struttura atomica e molecolare, ma anche dalla presenza di difetti della struttura cristallina, sia puntuali che estesi. Obiettivo del corso é pertanto quello di far comprendere al discente come struttura e microstruttura dei materiali, quest'ultima dipendente anche dal processo di produzione, ne influenzino le proprietà e, conseguentemente, il comportamento in esercizio e l'idoneità per una specifica applicazione. La correlazione processo-microstruttura-proprietà viene qui analizzata descrivendo i processi di sinterizzazione di polveri. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPRENSIONE: Al termine del corso lo studente avrà acquisito conoscenze approfondite sui processi di sinterizzazione di polveri, dalla driving force termodinamica sino alle cinetiche di densificazione. Lo studente dovrà essere in grado di spiegare i principi alla base dei processi che avvengono sia allo stato solido, sia con formazione di fase liquida. Lo studente dovrà infine descrivere le tecniche più comunemente impiegate per seguire l'avanzamento del processo di densificazione. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRENSIONE: Lo studente dovrà essere in grado di interagire in modo sinergico con professionisti, anche di diversa formazione (ad es. chimici, ingegneri), che operano nel campo della progettazione, produzione e caratterizzazione di materiali sinterizzati. Le conoscenze acquisite debbono pertanto permettere allo studente di integrarsi prontamente in contesti lavorativi multidisciplinari, sia in ambito aziendale, sia in attività di ricerca e sviluppo. AUTONOMIA DI GIUDIZIO:
-----------------	---

	Lo studente dovrà acquisire una sufficiente capacità di giudizio con riferimento alla valutazione e interpretazione di dati inerenti la produzione e la caratterizzazione funzionale di materiali sinterizzati. ABILITÀ COMUNICATIVE: Lo studente sarà in grado di comunicare con tecnici, professionisti e ricercatori attivi nello studio e/o nella produzione di materiali sinterizzati. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Lo studente avrà acquisito capacità adeguate per lo sviluppo e l'approfondimento di ulteriori competenze, con riferimento a: consultazione di materiale bibliografico, consultazione di banche dati e altre informazioni in rete, strumenti conoscitivi di base per l'aggiornamento continuo delle conoscenze nell'ambito dei processi di sinterizzazione di polveri.
English	LEARNING OUTCOMES: <i>The behavior of materials does not depend solely on their atomic and molecular structure, but is strongly influenced by the microstructure, i.e. the presence of point and/or extended defects in the crystalline structure. Production processes do affect materials' microstructure, thus determining their properties and, consequently, their behavior under real operating conditions. The processing-microstructure-property relationship is analyzed here describing powder metallurgy principles and applications.</i> KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: <i>The student has to acquire an in-depth knowledge of sintering processes, ranging from the thermodynamic driving force up to the densification kinetics. The student must be able to explain the principles underlying the processes that take place in solid-state sintering and liquid-phase sintering as well. Finally, the student should acquire information on the techniques most commonly used to follow the densification process of powders subjected to sintering.</i> APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: <i>The student should be able to interact positively with professionals, including those having different backgrounds (e.g. chemists, engineers, metallurgists), who work in the field of design, manufacturing and characterization of sintered materials.</i> MAKING JUDGEMENTS: <i>The student will be able to evaluate and rationalize data concerning both the production and functional characterization of sintered materials.</i> COMMUNICATION SKILLS: <i>The student will be able to communicate properly with technicians, professionals and researchers active in the study and/or production of sintered materials.</i> LEARNING SKILLS:

	<i>The student will have sufficient skills for improving his/her background on powder metallurgy and sintering processes, with particular emphasis on consultation of bibliographic material, scientific literature and databases available in the web and concerning materials science and powder metallurgy.</i>
--	--

PREREQUISITI

Italiano	Conoscenze di analisi matematica, termodinamica, cinetica chimica, teorie del legame chimico, elettrochimica di base (equazione di Nernst).
<i>English</i>	<i>Knowledge of Mathematics (Calculus), Thermodynamics, Chemical Kinetics, Chemical Bonding Theory, basic electrochemistry (Nernst equation).</i>

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Il corso si articola in 3 CFU per complessive 24 h di lezione in aula. CRISTALLI E DIFETTI (6 h) Solidi cristallini. Indici di Miller. Reticoli di Bravais. Strutture dei metalli (bcc, fcc, hcp). Solidi ionici. Difetti puntuali. Conduttori ionici. Difetti estesi. PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI (4 h) Proprietà meccaniche dei materiali. Comportamento a frattura. Tenacità. Teoria di Griffith. Comportamento a fatica. Scorrimento viscoso. Indurimento per soluzione solida. Indurimento per precipitazione. Incrudimento. Proprietà meccaniche dei materiali ceramici. Statistica di Weibull. TEORIA E PRATICA DELLA SINTERIZZAZIONE (10 h) Processi di sinterizzazione: principi fondamentali. Equazione di Laplace. Stadi della sinterizzazione. Evoluzione della microstruttura. Tecniche di misura del grado di avanzamento della sinterizzazione. Additivi di sinterizzazione: principi di funzionamento. Sinterizzazione con fase liquida. Diagramma di German. Sinterizzazione assistita da pressione; pressatura isostatica a caldo. CASE STUDIES (4 h): sinterizzazione di cermets (WC-Co); processing e proprietà di materiali ceramici per celle a combustibile a ossidi solidi (SOFC).
<i>English</i>	<i>The course is worth 3 credits and consists of a total of 24 hours of classroom instruction.</i> CRYSTALS AND DEFECTS (6 h) <i>Crystalline solids. Miller indices. Bravais lattices. Metal structures (bcc, fcc, hcp). Ionic solids. Point defects. Ionic conductors. Extensive defects.</i> MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS (4 hours) <i>Mechanical properties of materials. Fracture behaviour. Toughness. Griffith's theory. Fatigue behaviour. Viscous flow. Solid solution hardening. Precipitation hardening. Work hardening. Mechanical properties of ceramic materials. Weibull statistics.</i> SINTERING THEORY AND PRACTICE (10 h)

	<i>Sintering processes: fundamental principles. Laplace equation. Stages of sintering. Microstructural evolution. Techniques for measuring the degree of sintering progress. Sintering additives: principles of operation. Liquid-phase sintering. German diagram. Pressure-assisted sintering; hot isostatic pressing.</i> <i>CASE STUDIES (4 h): sintering of cermets (WC-Co); processing and properties of ceramic materials for solid oxide fuel cells (SOFC).</i>
--	--

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	Agli studenti verrà dato il pdf con le fotocopie dei lucidi proiettati a lezione. R. M. German, "Sintering Theory and Practice", John Wiley & Sons, New York, USA, 1996.
English	<i>PDF with slides.</i> <i>R. M. German, "Sintering Theory and Practice", John Wiley & Sons, New York, USA, 1996.</i>

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Il Corso si svolge integralmente con lezioni frontali in aula di due ore ciascuna.
English	<i>The course is taught through 2-hour classroom lectures.</i>

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Lezioni in aula.
English	<i>Class lectures.</i>

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 Tomellini.

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	L'esame consiste in un colloquio orale volto a verificare il livello di conoscenza degli argomenti trattati e a valutare la capacità di comprendere i fattori che determinano la densificazione di polveri sottoposte a processo di sinterizzazione. La prova di esame stabilisce: 1) le conoscenze acquisite dallo studente sugli argomenti trattati nel corso, 2) la capacità dello studente di effettuare correlazioni tra i vari argomenti e 3) la comprensione della correlazione tra processo, microstruttura e proprietà dei materiali sinterizzati, dimostrata con esempi concreti. La valutazione del candidato viene effettuata in base ai seguenti criteri: Non idoneo: importanti carenze e/o inaccuratezza nella conoscenza e comprensione degli argomenti; limitate capacità di analisi e sintesi, frequenti generalizzazioni. 18-20: conoscenza e comprensione degli argomenti appena sufficiente con possibili imperfezioni; capacità di analisi, sintesi e autonomia di giudizio sufficienti. 21-23: Conoscenza e comprensione degli argomenti routinaria; Capacità di analisi e sintesi corrette con argomentazione logica coerente. 24-26: Discreta conoscenza e comprensione degli argomenti; buone capacità di analisi e sintesi con argomentazioni espresse in modo rigoroso. 27-29: Conoscenza e comprensione degli argomenti completa; notevoli capacità di analisi, sintesi. Buona autonomia di giudizio. 30-30L: Ottimo livello di conoscenza e comprensione degli argomenti. Notevoli capacità di analisi e di sintesi, nonché spiccata autonomia di giudizio. Studentesse e studenti avranno uguale trattamento, senza discriminazione alcuna tra frequentanti e non frequentanti.
English	<i>The exam consists of an oral interview aimed at verifying 1) the knowledge acquired by the student about the fundamentals of the sintering process, 2) the student's ability to make correlations between the various topics and 3) the understanding of the correlation between process, microstructure and properties of sintered materials, demonstrated with examples and/or case studies.</i> <i>The evaluation of the candidate is carried out based on the following criteria:</i> <i>Fail (< 18/30): important deficiencies and/or inaccuracies in the knowledge and understanding of the topics; limited capacity of analysis and synthesis, frequent generalizations.</i> <i>18-20: knowledge and understanding of the topics just sufficient with possible imperfections; sufficient capacity for analysis, synthesis and autonomy of judgment.</i> <i>21-23: Routine knowledge and understanding of the topics; ability to perform proper analyses and syntheses with coherent logical argumentation.</i> <i>24-26: Fair knowledge and understanding of the topics; good analysis and synthesis skills with rigorously expressed arguments.</i> <i>27-29: Complete knowledge and understanding of the topics; remarkable skills of analysis, synthesis. Good autonomy of judgment.</i> <i>30-30L: Excellent level of knowledge and understanding of the topics. Remarkable capacity for analysis and synthesis, combined with a full autonomy of judgment. Fail: significant gaps and/or inaccuracies in knowledge and understanding of the topics; limited analytical and summarising skills.</i>

	<i>Students will be treated equally and without discrimination between those who attend classes and those who do not.</i>
--	---