

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

ELETTROCHIMICA DEI MATERIALI E DELLE INTERFACCE

Electrochemistry of Materials and Interfaces

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2027-2028	CdS	L-Sc.Mat
Codice	8068942	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Leonardo Duranti

CODOCENTE

Modulo:

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI Obiettivo formativo dell'insegnamento è quello di: - Acquisire nozioni base di elettrochimica, nomenclatura e tipologie di elettrodi, sistemi all'equilibrio e sistemi non all'equilibrio, processi faradici e non faradici; - Comprendere i concetti di conducibilità elettronica e ionica nei materiali in relazione alla temperatura; - Comprendere e descrivere la natura del doppio strato elettrico e il comportamento di interfacce polarizzate; - Comprendere la conoscenza del fenomeno della corrosione dei materiali metallici; - Acquisire le nozioni di base sul concetto di elettrocatalisi eterogenea; - Acquisire i concetti base delle tecniche di caratterizzazione elettrochimica dei materiali; - Acquisire le nozioni base sul funzionamento dei principali dispositivi per la conversione e o l'accumulo di energia attraverso lezioni teoriche e pratica di laboratorio. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE Si richiede di: - Conoscere nozioni di chimica di base ed elettromagnetismo; - Conoscere le proprietà periodiche degli elementi; - Conoscere le proprietà chimico-fisiche delle principali tre classi di materiali allo stato solido: metalli, ceramici e polimeri; - Comprendere la risposta delle interfacce elettrodo/elettrolita all'applicazione di un campo elettrico; - Valutare i fattori che determinano la corrosione e quelli che ne mitigano gli effetti. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: Si chiede di: - Saper descrivere la risposta delle principali classi di materiali e delle interfacce tra essi all'applicazione di un campo elettrico; - Saper distinguere e descrivere sistemi di equilibrio/di non equilibrio processi faradici/non faradici; - Saper utilizzare i concetti di differenza di potenziale, corrente, sovratensione, resistenza;
----------	--

	- Avvalersi della conoscenza dei principi dell'elettrochimica per descrivere il funzionamento dei principali dispositivi per l'accumulo e la conversione di energia; - Saper descrivere, anche solo qualitativamente il trasporto di carica all'interno dei materiali a stato solido. AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Si chiede di: - Saper valutare la consistenza logica delle argomentazioni a cui porta l'applicazione dei concetti e delle teorie apprese, sia in ambito teorico sia nell'analisi di dati sperimentali; - Saper riconoscere eventuali errori tramite un'analisi critica del metodo applicato. ABILITÀ COMUNICATIVE: Si chiede di saper: - Comunicare le conoscenze apprese e il risultato della loro applicazione utilizzando una terminologia appropriata. - Interagire con il docente e con i colleghi durante le lezioni in modo da confrontarsi sugli esiti dell'apprendimento. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Si chiede di maturare una capacità di apprendimento delle tematiche affrontate durante il corso, sia mediante la consultazione dei libri di testo, che altre informazioni in rete, che sarà necessaria per intraprendere studi successivi con un approccio critico ed alto grado di autonomia.
English	LEARNING OBJECTIVES The course aims to enable students to: - Acquire fundamental concepts of electrochemistry, including terminology and types of electrodes, equilibrium and non-equilibrium systems, and faradaic and non-faradaic processes; - Understand the concepts of electronic and ionic conductivity in materials and their dependence on temperature; - Understand and describe the nature of the electrical double layer and the behavior of polarized interfaces; - Understand the phenomenon of corrosion in metallic materials; - Acquire fundamental knowledge of heterogeneous electrocatalysis; - Acquire the basic concepts of electrochemical characterization techniques for materials; - Gain fundamental knowledge of the operating principles of the main energy conversion and storage devices through both theoretical lectures and laboratory practice. KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: Students are expected to: - Possess basic knowledge of chemistry and electromagnetism; - Know the periodic properties of the elements; - Understand the physicochemical properties of the three main classes of solid-state materials: metals, ceramics, and polymers; - Understand the response of electrode/electrolyte interfaces to the application of an electric field; - Evaluate the factors that promote corrosion and those that mitigate its effects. APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: Students should be able to:

	- Describe the response of the main classes of materials and their interfaces to the application of an electric field; - Distinguish and describe equilibrium and non-equilibrium systems, as well as faradaic and non-faradaic processes; - Apply the concepts of potential difference, current, overpotential, and resistance; - Use electrochemical principles to explain the operation of the main energy storage and conversion devices; - Describe, at least qualitatively, charge transport mechanisms in solid-state materials. MAKING JUDGEMENTS: Students should be able to: - Assess the logical consistency of arguments arising from the application of the concepts and theories learned, both in theoretical contexts and in the analysis of experimental data; - Identify potential errors through critical evaluation of the methods employed. COMMUNICATION SKILLS: Students should be able to: - Communicate the acquired knowledge and the results of its application using appropriate scientific terminology; - Interact effectively with the instructor and fellow students during lectures to discuss and compare learning outcomes. LEARNING SKILLS: Students are expected to develop the ability to independently learn and deepen the topics covered in the course through the consultation of textbooks, databases, and other online resources. These skills will be essential for pursuing further studies with a critical approach and a high degree of autonomy.
--	---

PREREQUISITI

Italiano	Si chiede di aver acquisito le conoscenze e competenze relative all'insegnamento di "CHIMICA GENERALE CON LABORATORIO" e "ELETTROMAGNETISMO"
<i>English</i>	It is required to have acquired the knowledge and skills related to the teachings of "CHIMICA GENERALE CON LABORATORIO" and "ELETTROMAGNETISMO".

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Il corso prevede lezioni frontali e una esercitazione di laboratorio. Il programma tratterà i seguenti argomenti: - Sistemi elettrochimici e notazione: celle, elettrodi, reazioni redox, semireazioni, potenziali standard, serie elettrochimiche, elettrodi di riferimento. - Configurazione di celle a due e tre elettrodi. Processi faradaici e non faradaici. Termodinamica chimica ed elettrochimica. Energia libera di Gibbs e lavoro elettrochimico. Elettrochimica di equilibrio, cella di Daniell, equazione di Nernst. - Descrizione dell'interfaccia elettrodo-elettrolita. Capacità e carica superficiale: struttura del doppio strato elettrico: modello di Helmholtz-Perrin, modello di Gouy-Chapman, modello di Stern.
-----------------	--

	- Cinetica delle reazioni agli elettrodi, sistemi fuori dall'equilibrio. Modello di Butler-Volmer, sovratensione, polarizzazione di attivazione, trasferimento di massa e polarizzazione di diffusione, equazione di Tafel e grafici di Tafel. - Tecniche: caratterizzazione dell'elettrodo a disco rotante (RDE). Potenziometria, coulometria, voltammetria e interpretazione di base dei dati. Principi di spettroscopia di impedenza elettrochimica, resistenza e capacità di trasferimento di carica, diagrammi di Nyquist e Bode, circuiti equivalenti. - Elettrochimica della corrosione, diagrammi di Evans, passivazione, tipologie di corrosione, strategie di base per la protezione dalla corrosione. - Elettrocatalisi, reazioni di ossidazione/evoluzione dell'idrogeno e dell'ossigeno con particolare attenzione ai materiali elettrocataliticamente attivi: attività intrinseca, area superficiale elettrochimica (ECSA). - Esempi di applicazione per l'accumulo di energia: batterie, supercondensatori, pseudocondensatori. - Esempi di applicazione per la conversione di energia: celle a combustibile, elettrolizzatori, sistemi ad alta temperatura.
English	The course includes lectures and a laboratory exercise. The program will cover the following topics: - Electrochemical systems and notation: cells, electrodes, redox reactions, half-reactions, standard potentials, electrochemical series, reference electrodes. - Two and Three-electrodes cell setup. Faradaic and nonfaradaic processes. Chemical vs. Electrochemical Thermodynamics. Gibbs free energy and electrochemical work. Equilibrium electrochemistry, Daniell cell, the Nernst equation. - Electrode-electrolyte interface description. Capacitance and surface charge: structure of the electrical Double Layer: Helmholtz-Perrin Model, Gouy-Chapman Model, Stern Model. - Kinetics of electrode reactions, non-equilibrium systems. Butler-Volmer model, overpotential, activation polarization, mass transfer and diffusion polarization, Tafel equation and Tafel plots. - Techniques: Rotating disk electrode (RDE) characterization. Potentiometry, Coulometry, Voltammetry and basic data interpretation. Principles of Electrochemical Impedance Spectroscopy, charge transfer resistance and capacitance, Nyquist and Bode plots, Equivalent circuits. - Corrosion electrochemistry, Evans diagrams, Passivation, types of corrosion, basic corrosion protection strategies. - Electrocatalysis, hydrogen and oxygen oxidation/evolution reactions with the focus on electrocatalytically active materials: intrinsic activity, electrochemical surface area (ECSA). - Application examples for energy storage: batteries, supercapacitors, pseudocapacitors. - Application examples for energy conversion: fuel cells, electrolyzers, high-temperature systems.

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	Appunti delle lezioni e diapositive. Testi consigliati:
----------	---

	-Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications 3rd edition by Allen J. Bard, Larry R. Faulkner, Henry S. White edited by John Wiley & Sons (2022), ISBN: 978-1-119-33406-4 -Physical Electrochemistry: Fundamentals, Techniques, and Applications, 2nd edition by Noam Eliaz, Eliezer Gileadi edited by John Wiley & Sons (2019) ISBN: 978-3-527-34139-9 -Electrochemical Engineering by Thomas F. Fuller, John N. Harb edited by John Wiley & Sons (2018), ISBN: 978-1-119-44659-0
<i>English</i>	Lecture notes and slides. Recommended textbooks: -Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications 3rd edition by Allen J. Bard, Larry R. Faulkner, Henry S. White edited by John Wiley & Sons (2022), ISBN: 978-1-119-33406-4 -Physical Electrochemistry: Fundamentals, Techniques, and Applications, 2nd edition by Noam Eliaz, Eliezer Gileadi edited by John Wiley & Sons (2019) ISBN: 978-3-527-34139-9 -Electrochemical Engineering by Thomas F. Fuller, John N. Harb edited by John Wiley & Sons (2018), ISBN: 978-1-119-44659-0

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Didattica frontale condotta in aula
<i>English</i>	Frontal lectures done in the classroom

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	La metodologia didattica impiegata consiste in 48 ore (6 CFU) di didattica frontale e una esercitazione in laboratorio. Il corso si articola in una serie di lezioni frontali con proiezione di diapositive e discussione con gli studenti. L'interesse degli studenti viene stimolato illustrando molteplici esempi in relazione agli argomenti introdotti. Un'attività di supporto viene svolta per chiarimenti/approfondimenti sugli argomenti del corso su richiesta degli studenti previo appuntamento via mail (singoli o piccoli gruppi).
<i>English</i>	The teaching methodology employed consists of 48 hours (6 credits) of lectures and one laboratory exercise. The course is structured into a series of lectures with slide shows and discussions with students. Student interest is stimulated by illustrating multiple examples related to the topics covered. Support is available for clarifications/in-depth analysis of course topics upon request by students (individuals or small groups) via email.

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

Prof. LEONARDO DURANTI (titolare del corso)
Prof.ssa ELISABETTA DI BARTOLOMEO

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La verifica dell'apprendimento avviene attraverso il superamento di una prova finale orale. La prova accerterà l'acquisizione delle conoscenze e delle abilità attese e consiste in una discussione con domande su tutti gli argomenti del programma. Il punteggio della prova d'esame è attribuito mediante un voto espresso in trentesimi e sarà una media pesata dei voti alle risposte sulle tematiche principali del programma. I criteri di cui si terrà conto per la formulazione del voto saranno: livello delle conoscenze del programma, capacità di ragionamento, capacità di collegamento ed integrazione con le conoscenze pregresse, abilità di linguaggio e correttezza dell'uso della lingua. Il punteggio finale sarà dato da una media pesata sui crediti dei due moduli dell'insegnamento. La graduazione del voto è definita dalle seguenti suddivisioni: 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 e di autonomia di giudizio. Argomentazioni espresse in modo originale.
English	The exam will assess the acquisition of the expected knowledge and skills and consists of a discussion with questions on all the topics covered in the program. The exam score is awarded on a scale of 30 and will be a weighted average of the scores for the answers to the main topics covered in the program. The criteria taken into account in formulating the grade will be: level of knowledge of the program, reasoning ability, ability to connect and integrate with prior knowledge, language skills, and correct use of the language. The final score will be a weighted average of the credits for the two modules of the course. The grade is graded according to the following subdivisions: Unsatisfactory: significant deficiencies and/or inaccuracies in knowledge and understanding of the topics; limited ability to analyze and synthesize; frequent generalizations.

	18-20: knowledge and understanding of the topics barely adequate with possible imperfections; sufficient ability to analyze, synthesize, and make independent judgments. 21-23: knowledge and understanding of the topics routine; Accurate analysis and synthesis skills with coherent logical argumentation. 24-26: Fair knowledge and understanding of the topics; good analysis and synthesis skills with rigorously expressed arguments. 27-29: Complete knowledge and understanding of the topics; notable analysis and synthesis skills. Good independent judgment. 30-30L: Excellent knowledge and understanding of the topics. Notable analysis and synthesis skills and independent judgment. Originally expressed arguments.
--	--