

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

CATALISI PER UNA ECONOMIA SOSTENIBILE

CATALYSIS FOR A SUSTAINABLE ECONOMY

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	CHIMICA
Codice	8068975	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

MARILENA CARBONE

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: L'insegnamento, articolato in lezioni frontali, è volto allo studio dei principi fondamentali della catalisi omogenea ed eterogenea, con particolare attenzione alle relazioni tra struttura, proprietà e reattività dei catalizzatori. Il corso intende fornire una visione integrata dei principali sistemi catalitici, dei materiali impiegati e delle loro applicazioni in ambito energetico, ambientale e industriale, evidenziando il ruolo della catalisi nei processi chimici sostenibili e nelle tecnologie emergenti. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: Gli studenti acquisiranno le conoscenze di base relative ai principali sistemi catalitici, ai meccanismi di attivazione chimica e ai parametri utilizzati per la valutazione delle prestazioni dei catalizzatori. Verranno affrontati aspetti legati alle proprietà elettroniche e strutturali dei materiali catalitici, alle relazioni struttura–attività e al ruolo dei diversi approcci catalitici nella trasformazione chimica. Saranno inoltre introdotte applicazioni rilevanti nell'ambito della conversione dell'energia, dell'elettrocatalisi, della fotocatalisi e dei processi di interesse industriale e ambientale. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: Gli studenti svilupperanno la capacità di interpretare il comportamento dei sistemi catalitici, correlando proprietà strutturali e funzionali con attività, selettività e stabilità. Acquisiranno inoltre gli strumenti necessari per valutare strategie di progettazione, sintesi e impiego di materiali catalitici in differenti contesti applicativi, con particolare attenzione ai materiali avanzati e ai sistemi di interesse per la sostenibilità. La verifica dei risultati di apprendimento avverrà attraverso un esame finale volto ad accertare la capacità dello studente di applicare criticamente le conoscenze acquisite. AUTONOMIA DI GIUDIZIO:
-----------------	--

	Gli studenti dovranno essere in grado di analizzare criticamente dati sperimentali, risultati scientifici e informazioni provenienti dalla letteratura di settore, sviluppando capacità di valutazione autonoma delle metodologie e delle interpretazioni proposte. Dovranno inoltre acquisire familiarità con la ricerca bibliografica mediante l'utilizzo di libri, articoli scientifici, banche dati e risorse elettroniche disponibili sul web, operando un'adeguata selezione e contestualizzazione delle informazioni reperite. ABILITÀ COMUNICATIVE: Gli studenti acquisiranno la capacità di esporre in modo chiaro, rigoroso e comprensibile concetti, problematiche e risultati relativi alla catalisi, utilizzando una terminologia scientifica appropriata. Sarà richiesta una conoscenza dell'inglese adeguata alla comprensione della letteratura scientifica internazionale e alla consultazione di testi specialistici. Attraverso la discussione di temi scientifici e l'interpretazione dei risultati, gli studenti svilupperanno inoltre capacità di sintesi, argomentazione e confronto con interlocutori di preparazione affine o interdisciplinare. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Gli studenti svilupperanno una comprensione del ruolo della catalisi nella ricerca chimica contemporanea e nelle sue applicazioni tecnologiche, acquisendo strumenti concettuali utili ad affrontare problematiche scientifiche anche in contesti non precedentemente trattati. Saranno incoraggiati a integrare conoscenze teoriche e applicative attraverso lo studio autonomo, l'analisi della letteratura scientifica e l'aggiornamento continuo, sviluppando competenze utili per il proseguimento degli studi e per attività di ricerca o innovazione tecnologica.
<i>English</i>	LEARNING OUTCOMES The course, delivered through lectures, is aimed at the study of the fundamental principles of homogeneous and heterogeneous catalysis, with particular attention to the relationships between structure, properties, and reactivity of catalysts. The course provides an integrated overview of the main catalytic systems, materials employed, and their applications in the fields of energy, environment, and industry, highlighting the role of catalysis in sustainable chemical processes and emerging technologies. KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING Students will acquire basic knowledge of the main catalytic systems, chemical activation mechanisms, and key parameters used to evaluate catalyst performance. Topics related to the electronic and structural properties of catalytic materials, structure–activity relationships, and the role of different catalytic approaches in chemical transformations will be addressed. Relevant applications in energy conversion, electrocatalysis, photocatalysis, and industrial and environmental processes will also be introduced. APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING Students will develop the ability to interpret the behavior of catalytic systems by correlating structural and functional properties with activity, selectivity, and stability. They will also acquire the tools needed to evaluate strategies for the design, synthesis, and application of

	catalytic materials in different contexts, with particular attention to advanced materials and systems relevant to sustainability. The achievement of learning outcomes will be assessed through a final oral examination aimed at verifying the student's ability to critically apply the acquired knowledge. JUDGEMENT AUTONOMY Students will be able to critically analyze experimental data, scientific results, and information from the scientific literature, developing independent evaluation skills of methodologies and interpretations. They will also become familiar with bibliographic research through the use of books, scientific articles, databases, and electronic resources available on the web, appropriately selecting and contextualizing the information retrieved. COMMUNICATION SKILLS Students will acquire the ability to clearly, rigorously, and effectively present concepts, problems, and results related to catalysis, using appropriate scientific terminology. A sufficient knowledge of English for understanding international scientific literature and specialized texts will be required. Through the discussion of scientific topics and interpretation of results, students will also develop skills in synthesis, argumentation, and interaction with peers from similar or interdisciplinary backgrounds. LEARNING SKILLS Students will develop an understanding of the role of catalysis in contemporary chemical research and its technological applications, acquiring conceptual tools to address scientific problems even in previously unencountered contexts. They will be encouraged to integrate theoretical and applied knowledge through independent study, analysis of scientific literature, and continuous updating, developing skills useful for further studies and for research or technological innovation activities.
--	--

PREREQUISITI

Italiano	Conoscenze di base di chimica inorganica, organica, analitica acquisite nel corso della laurea triennale, nonché di chimica dei solidi
<i>English</i>	<i>Basic knowledge of inorganic, organic, analytical chemistry, acquired in bachelor studies, as well as solid state chemistry</i>

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Modulo 1: Fondamenti e teoria della catalisi (8 ore) Introduzione: evoluzione storica della catalisi e classificazione dei principali sistemi catalitici (omogenei, eterogenei, enzimatici). Indicatori di performance: parametri di valutazione dell'attività catalitica, quali efficienza, produttività, selettività, stabilità, TON e TOF. Meccanismi di attivazione chimica: teoria della coordinazione e modelli di legame per l'attivazione di molecole e legami chimici.
-----------------	---

	Catalizzatori eterogenei: proprietà strutturali ed elettroniche di metalli e semiconduttori; ruolo di siti attivi, difetti e non-stechiometria. Introduzione a materiali supportati e nanomateriali. Modulo 2: Macro cicli tetrapirrolici ed elettrocatalisi (8 ore) Ruolo biologico e proprietà fondamentali dei macrocicli tetrapirrolici. Cenni alle metodologie sintetiche delle porfirine e alle loro caratteristiche foto- ed elettrochimiche. Applicazioni dei macrocicli tetrapirrolici in processi elettrocatalitici, con particolare riferimento a HER, ORR e CO₂RR. Relazioni struttura–attività (SAR) nei processi elettrocatalitici e introduzione ai porphyrin-framework per la riduzione della CO₂. Modulo 3: Tecnologie catalitiche per energia e ambiente (20 ore) Elettrocatalisi eterogenea: fondamenti termodinamici e cinetici dei processi all’interfaccia elettrodo–elettrolita; applicazioni alla produzione di idrogeno e alla riduzione della CO₂. Fotocatalisi: meccanismi di eccitazione luminosa in semiconduttori e complessi molecolari; applicazioni in ambito energetico e ambientale. Single Atom Catalysts (SACs): sintesi, proprietà e reattività di centri metallici isolati; confronto tra approcci omogenei ed eterogenei al limite atomico. Modulo 4: Catalisi nell’industria (4 ore) Ciclo di vita del catalizzatore: materiali di partenza, principali metodologie di preparazione e aspetti legati a disattivazione, rigenerazione e recupero dei catalizzatori esausti. Processi industriali: discussione di casi studio selezionati. Scenario globale: elementi di analisi del mercato della catalisi e del contesto industriale europeo e italiano.
English	Module 1: Fundamentals and Theory of Catalysis (8 hours) Introduction: historical evolution of catalysis and classification of the main catalytic systems (homogeneous, heterogeneous, enzymatic). Performance indicators: parameters for evaluating catalytic activity, such as efficiency, productivity, selectivity, stability, TON and TOF. Chemical activation mechanisms: coordination theory and bonding models for the activation of molecules and chemical bonds. Heterogeneous catalysts: structural and electronic properties of metals and semiconductors; role of active sites, defects, and non-stoichiometry. Introduction to supported materials and nanomaterials. Module 2: Tetrapyrrolic Macrocycles and Electrocatalysis (8 hours) Biological role and fundamental properties of tetrapyrrolic macrocycles. Overview of synthetic methodologies for porphyrins and their photo- and electrochemical properties. Applications of tetrapyrrolic macrocycles in electrocatalytic processes, with particular reference to HER, ORR, and CO₂RR. Structure–activity relationships (SAR) in electrocatalytic processes and introduction to porphyrin frameworks for CO₂ reduction.

	Module 3: Catalytic Technologies for Energy and Environment (20 hours) Heterogeneous electrocatalysis: thermodynamic and kinetic fundamentals of processes at the electrode–electrolyte interface; applications to hydrogen production and CO₂ reduction. Photocatalysis: mechanisms of light-induced excitation in semiconductors and molecular complexes; applications in energy and environmental fields. Single Atom Catalysts (SACs): synthesis, properties, and reactivity of isolated metal centers; comparison between homogeneous and heterogeneous approaches at the atomic limit. Module 4: Catalysis in Industry (4 hours) Catalyst life cycle: raw materials, main preparation methods, and aspects related to deactivation, regeneration, and recovery of spent catalysts. Industrial processes: discussion of selected case studies. Global scenario: overview of the catalysis market and the European and Italian industrial context.
--	--

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	“Principles and Practice of Heterogeneous Catalysis” – J.M. Thomas & W.J. Thomas “Concepts of Modern Catalysis and Kinetics” - Chorkendorff & Niemantsverdriet “Photoelectrochemical Solar Fuel Production”- Bisquert, Jimenez
<i>English</i>	Principles and Practice of Heterogeneous Catalysis” – J.M. Thomas & W.J. Thomas “Concepts of Modern Catalysis and Kinetics” - Chorkendorff & Niemantsverdriet “Photoelectrochemical Solar Fuel Production”- Bisquert, Jimenez

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza

☐ A distanza

Italiano	Il corso prevede 48 ore di lezioni frontali i cui vengono trattati tutti gli argomenti del programma, con l'aiuto di diapositive esplicative e riassuntive e con interlocazioni con gli studenti.
<i>English</i>	<i>The course includes 48 hours of lectures (using both slides presentation and blackboard) covering all the topics of the program, with interactions with the students.</i>

MODALITÀ DI FREQUENZA

☒ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Erogazione in presenza e facoltativa, ma fortemente consigliata
<i>English</i>	<i>Lectures in presence and optional, but highly recommended</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

Marilena Carbone, Diego Di Girolamo, Angelo Lembo, Lorenzo Gontrani, Riccardo Polini

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	Nell'ottica di valutare gli obiettivi formativi stabiliti, per questo insegnamento è previsto il superamento di una prova orale alla fine del corso e dell'esposizione/discussione di uno o più articoli scientifici recenti, relativi ad un argomento concordato con il docente. La prova orale verterà sulla discussione delle varie metodologie apprese durante il corso. Il punteggio della prova d'esame è attribuito mediante un voto espresso in trentesimi, e sarà assegnato 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 e di autonomia di giudizio. Argomentazioni espresse in modo originale.
<i>English</i>	<i>In order to assess the achievement of the course objectives, passing an oral test is required at the end of the course, together with the presentation/discussion of one or more recent scientific article(s) on a topic agreed with the lecturer. The oral test will focus on the discussion of the various methodologies learned during the course.</i> <i>The examination will be marked by a grade expressed in thirtieths, and will be awarded according to the following criteria:</i>



	<i>Not suitable: major deficiencies and/or inaccuracy in knowledge and understanding of the topics; limited ability to analyse and synthesise, frequent generalisations.</i> <i>18-20: Barely sufficient knowledge and understanding of the topics with possible imperfections; sufficient capacity for analysis, synthesis and autonomy of judgement.</i> <i>21-23: Routine knowledge and understanding of the topics; correct analysis and synthesis skills with coherent logical argumentation.</i> <i>24-26: Fair knowledge and understanding of the topics; good analytical and synthetic skills with rigorously expressed arguments.</i> <i>27-29: Comprehensive knowledge and understanding of the topics; Considerable ability to analyse, synthesise. Good autonomy of judgement.</i> <i>30-30L: Excellent level of knowledge and understanding of topics. Remarkable analytical and synthetic skills and independent judgement. Arguments expressed in an original manner</i>
--	---