UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Models and Materials for Electrochemical Energy Generation and Conversion

2526-1-FSM02Q018

Obiettivi

Il corso si propone di fornire agli studenti i principi e le tecnologie elettrochimiche per la conversione dell'energia, inserendoli nel più ampio contesto dell'attuale scenario energetico.

Conoscenza e comprensione
Al termine del corso, lo studente conoscerà:
Concetti di base dei sistemi di conversione elettrochimica (elettroliti, elettrodi, loro integrazione nell'assemblaggio di elettrodi a membrana).
Principali tecnologie per la conversione elettrochimica dell'energia, tra cui celle a combustibile ed elettrolizzatori, e nuovi sistemi di conversione come la conversione dell'anidride carbonica e la riduzione dei nitrati.
Materiali e funzionamento dei sistemi di conversione elettrochimica dell'energia.
Effetto dei parametri operativi (ad esempio, temperatura e pressione) sulle prestazioni.

Applicazione della conoscenza e della comprensione
Al termine del corso, lo studente sarà in grado di:
Identificare i componenti principali delle celle a combustibile e degli elettrolizzatori ad acqua.
Applicare le conoscenze acquisite per la selezione dei materiali.
Applicare le conoscenze acquisite per valutare criticamente la scelta dei materiali in diversi dispositivi di conversione elettrochimica dell'energia, considerando le loro proprietà strutturali, elettroniche e funzionali.
Assemblare un dispositivo di conversione elettrochimica, selezionando elettroliti e materiali per gli elettrodi. Comprendere le curve di polarizzazione e le analisi sui vari componenti del sistema (separatore a membrana, anodo e catodo).

Autonomia di giudizio
Al termine del corso, lo studente dovrà dimostrare la capacità di:
Dimostrare la padronanza degli argomenti trattati nel corso
Comprendere il principio di funzionamento di un dispositivo elettrochimico di accumulo di energia
Dimostrare la capacità di analizzare criticamente i dati elettrochimici raccolti in laboratorio. Ciò include anche la

capacità di organizzare i dati in un articolo scientifico.

Competenze comunicative
Al termine di questa attività, lo studente sarà in grado di presentare oralmente e con adeguate competenze linguistiche gli argomenti scientifici relativi ai sistemi di conversione dell'energia. Sarà inoltre in grado di produrre un elaborato scritto relativo agli esperimenti di laboratorio.

Competenze di apprendimento
Al termine del corso, lo studente sarà in grado di:
Approfondire autonomamente la propria conoscenza dei materiali e dei dispositivi di conversione elettrochimica dell'energia attraverso la letteratura scientifica esistente.
Aggiornarsi costantemente sugli sviluppi della ricerca e sull'evoluzione tecnologica nel campo dei sistemi di conversione elettrochimica, inclusa la sostituzione di materie prime critiche con materiali meno nobili e preziosi.
Valutare criticamente informazioni e dati e, infine, supportare il processo decisionale e la risoluzione dei problemi.
Sviluppare un approccio multidisciplinare (scienza dei materiali, chimica e ingegneria) e multiscala (dal livello atomico a quello di sistema) allo studio e alla comprensione dei sistemi di conversione elettrochimica dell'energia.
Proseguire efficacemente il proprio percorso di apprendimento sia in ambito accademico che professionale, in particolare nel campo delle tecnologie di conversione dell'energia.

Contenuti sintetici

Catalisi ed elettrocatalisi. Tecnologie elettrochimiche per la conversione e la generazione di energia. Elettrolizzatori ad acqua, celle a combustibile, riduzione dell'anidride carbonica, sistemi bioelettrochimici.

Programma esteso

Dalla catalisi termica all'elettrocatalisi: brevi richiami di aspetti teorici fondamentali in ambito eterogeneo catalisi ed elettrocatalisi: cinetica di reazione, meccanismo, barriere e sovrapotenziale.
Qual è il vero catalizzatore? L'interazione tra esperimenti e modellistica nella caratterizzazione delle caratteristiche strutturali e chimiche del catalizzatore: definizione del sito attivo, caratterizzazione morfologica e chimica delle specie attive mediante tecniche microscopiche e spettroscopiche e modellizzazione teorica.
Elettrocatalisi al lavoro: razionalizzazione dell'andamento dell'attività nella reazione di riduzione dell'ossigeno, scissione dell'acqua, reazione di evoluzione dell'idrogeno, reazione di evoluzione dell'ossigeno, elettroriduzione della CO2: meccanismi di reazione, attività prevista, pro e contro dei vari elettrocatalizzatori.
Dalle nanoparticelle ai singoli atomi: l'aspetto dimensionale di un catalizzatore. Una panoramica critica sull'uso di specie catalitiche altamente disperse.
Elettrolizzatori d'acqua. Classificazione degli elettrolizzatori (elettrolizzatori AEL, PEMEL, AEMEL, SOEC, CO2). Strategie per ottimizzare i percorsi di reazione (reazione di evoluzione dell'idrogeno, reazione di evoluzione dell'ossigeno, elettroriduzione della CO2).
Individuazione delle prestazioni, curve di polarizzazione, perdite, problemi di durabilità. Effetto dei parametri operazionali (es. T, P) sull'elettrochimica. Materiali organici, inorganici e ibridi per elettrocatalizzatori e membrane.
Fabbricazione di architetture di elettrocatalizzatori, membrane polimeriche e loro integrazione nell'assemblaggio di membrane ed elettrodi. Identificazione delle lacune e proposte di soluzioni. Sostituzione di materie prime critiche (es. Pt, Ir e Co) e composti fluorurati. Operazioni del dispositivo.
Celle a combustibile. Classificazione delle celle a combustibile funzionanti con materie prime gassose (PEMFC, AEMFC, AFC, MCFC, SOFC) e liquide (DMFC, DEFC, DFAFC, ecc.). Strategie per ottimizzare le vie di reazione (reazione di ossidazione dell'idrogeno, reazione di ossidazione dell'alcool, reazione di riduzione dell'ossigeno).
Individuazione delle prestazioni, curve di polarizzazione, perdite, problemi di durabilità. Effetto dei parametri operativi (es. T, P, ecc.) sull'elettrochimica. Materiali organici, inorganici e ibridi per elettrocatalizzatori e

membrane. Fabbricazione di architetture di elettrocatalizzatori, membrane polimeriche e loro integrazione nell'assemblaggio di membrane ed elettrodi. Identificazione delle lacune e proposte di soluzioni. Sostituzione di materie prime critiche (es. Pt e Co) e composti fluorurati. Operazioni del dispositivo.
Sistemi bioelettrochimici. Classificazione dei sistemi bioelettrochimici (MFC, MEC, MDC, EFC, ecc). Interazione batterico-superficie o enzima-superficie. Modifica della superficie per migliorare/diminuire l'attaccamento di batteri/enzimi. Meccanismi di reazione di microrganismi ed enzimi (batterici ed enzimatici). Identificazione delle lacune e proposte di soluzioni. Operazioni del dispositivo
Applicazione di dispositivi elettrochimici. Il corso si completerà con una discussione sui dispositivi allo stato dell'arte nei diversi settori di interesse come quello automobilistico, residenziale e industriale fornendo una tabella di marcia verso l'obiettivo UE della decarbonizzazione nel 2050.

Prerequisiti

Conoscenze standard di fisica e matematica, termodinamica e cinetica dei sistemi chimici.
Consigliato: Fondamenti di Elettrochimica per l'immagazzinamento dell'energia

Modalità didattica

16 lezioni da 2 ore in presenza, Didattica Erogativa
12 attività di esercitazione da 2 ore in presenza, Didattica Interattiva

Materiale didattico

Slide proiettata a lezione e capitoli selezionati dei seguenti libri:

• Bard Faulkner: Electrochemical Methods, Fundamental and Applications (2° Edition)
• IRENA Report (IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5oC Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi)
• Fuller and Harb, Electrochemical Engineering, Wiley 2018
• Pei Kang Shen, Chao-Yang Wang, San Ping Jiang, Xueliang Sun, Jiujun Zhang. Electrochemical Energy Advanced Materials and Technologies. 2017. CRC Press
• F. Marken, D. Fermin. Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide: Overcoming the Limitations of Photosynthesis. RSC Publishing. 2018
• S. Cosnier. Bioelectrochemistry: Design and Applications of Biomaterials. Publisher: De Gruyter. Edited by Serge Cosnier. ISBN 978-3-11-056898-1. DOI : 10.1515/9783110570526-010
• Xu, Kang “Electrolytes, Interfaces and Interphases Fundamentals and Applications in Batteries”, RSC Publishing

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo semestre (semestre intero)

Modalità di verifica del profitto e valutazione

Presentazione di un articolo di review alla fine del corso.
Non sono previste prove in itinere intermedie.
Verrà valutata la modalità di presentazione, la conoscenza dell'argomento e la capacità a rispondere alle domande.
Inoltre, verranno valutate le competenze acquisite durante il corso.

Orario di ricevimento

Su appuntamento contattando i docenti via email

Sustainable Development Goals

ENERGIA PULITA E ACCESSIBILE