



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

<b>DIPARTIMENTO</b>	Ingegneria		
<b>ANNO ACCADEMICO OFFERTA</b>	2022/2023		
<b>ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE</b>	2023/2024		
<b>CORSO DILAUREA MAGISTRALE</b>	INGEGNERIA CHIMICA		
<b>INSEGNAMENTO</b>	ELECTROCHEMICAL POWER SOURCES		
<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	C		
<b>AMBITO</b>	20911-Attività formative affini o integrative		
<b>CODICE INSEGNAMENTO</b>	21889		
<b>SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI</b>	ING-IND/23		
<b>DOCENTE RESPONSABILE</b>	ZAFFORA ANDREA	Ricercatore a tempo determinato	Univ. di PALERMO
<b>ALTRI DOCENTI</b>			
<b>CFU</b>	6		
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	108		
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA</b>	42		
<b>PROPEDEUTICITA'</b>			
<b>MUTUAZIONI</b>			
<b>ANNO DI CORSO</b>	2		
<b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>	1° semestre		
<b>MODALITA' DI FREQUENZA</b>	Facoltativa		
<b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>	Voto in trentesimi		
<b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>	ZAFFORA ANDREA	Tutti i giorni, Studio personale, Edificio 6, Secondo Piano, Stanza 2013. Da concordare tramite e-mail a <a href="mailto:andrea.zaffora@unipa.it">andrea.zaffora@unipa.it</a>	

<p><b>PREREQUISITI</b></p>	<p>Conoscenze di chimica inorganica e di elettrochimica. Primo e secondo principio della termodinamica. Concetti di campo elettrico, corrente elettrica e leggi di Ohm.</p>
<p><b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b></p>	<p>Conoscenza e capacità di comprensione          Lo studente al termine del Corso avrà conoscenza generali delle problematiche inerenti l'accumulo e la conversione di energia per via elettrochimica. Lo studente sarà in grado di comprendere aspetti teorici e tecnologici che caratterizzano il funzionamento di dispositivi quali batterie primarie e secondarie, celle a combustibile e supercondensatori. Inoltre, lo studente avrà conoscenze dettagliate sui materiali utilizzati per la fabbricazione dei dispositivi e sulle caratteristiche chimico-fisiche, che li rendono adatti per certe applicazioni.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione          Lo studente sarà in grado di utilizzare tecniche elettrochimiche (curve di polarizzazione, misure di impedenza, ecc.) per valutare le prestazioni di un dispositivo; lo studente sarà in grado di stabilire quale dispositivo sia più adatto per una specifica applicazione sulla base delle caratteristiche elettriche richieste (potenza, tensione, ecc.).</p> <p>Autonomia di giudizio          Lo studente sarà in grado di scegliere il dispositivo più adatto per una determinata applicazione in base alle sue caratteristiche tecniche ed in base a quelle richieste dall'utente. Sarà, inoltre, in grado di scegliere gli strumenti più adatti che servono per caratterizzare la performance di un dispositivo.          Per raggiungere questo obiettivo saranno predisposte delle esercitazioni scritte in cui lo studente sarà direttamente chiamato a scegliere fra diversi materiali quelli più adatti per realizzare un dispositivo con certi requisiti (tensione, potenza, costante di tempo, densità di energia, ecc.), e di suggerire le prove più opportune per testare dispositivi già preparati.</p> <p>Abilità comunicative          Lo studente acquisirà la capacità di comunicare ed esprimere problematiche inerenti l'oggetto del corso. Sarà in grado di sostenere conversazioni su tematiche inerenti la conversione dell'energia per via elettrochimica, e di evidenziare differenze ed analogie con gli altri metodi di conversione di energia. L'acquisizione della terminologia consona e della capacità di utilizzarla con altri addetti ai lavori sarà curata in esercitazioni di laboratorio interattive, in cui gli studenti saranno chiamati a descrivere il funzionamento di dispositivi commerciali o di dispositivi da laboratorio proponendo tecniche di indagine e soluzioni per il miglioramento delle prestazioni.</p> <p>Capacità d'apprendimento          Lo studente avrà appreso alcuni concetti salienti dell'elettrochimica applicata, che non sono comuni con altri corsi erogati nell'ambito del suo corso di laurea e apprenderà come gestire problemi tecnici grazie ad esercitazioni che prevedono lunghe e mirate attività di laboratorio.</p>
<p><b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b></p>	<p>La valutazione dello studente prevede una prova orale in cui vengono proposte delle domande a risposta aperta concentrate su due ambiti:          - aspetti termodinamici e cinetici dei processi elettrochimici;          - principio di funzionamento e materiali dei dispositivi elettrochimici per l'accumulo e la conversione dell'energia (batterie, fuel cell, etc.).          Le domande saranno in parte quantitative ed in parte qualitative, e lo studente potrà avvalersi di strumenti che lo aiutino a rispondere in maniera corretta (manuali con dati termodinamici e cinetici). Lo studente dovrà dimostrare capacità di elaborare le conoscenze fondamentali acquisite nel corso utilizzandole per superare i problemi pratici che gli vengono posti, e capacità di esprimersi con un linguaggio tecnicamente corretto sui contenuti dell'insegnamento. In particolare, dovrà essere in grado di utilizzare le conoscenze degli aspetti termodinamici e cinetici delle reazioni elettrochimiche per progettare ed ottimizzare dispositivi per l'accumulo e la conversione di energia e per scegliere il dispositivo che in termini di potenza e tensione meglio assolve le richieste dell'utente.          Il punteggio della prova d'esame è attribuito mediante un voto espresso in trentesimi. La verifica finale mira a valutare se lo studente abbia conoscenza e comprensione degli argomenti, abbia acquisito competenza interpretativa e autonomia di giudizio di casi concreti. La soglia della sufficienza (18/30) sarà raggiunta quando lo studente mostri conoscenza e comprensione degli argomenti almeno nelle linee generali (ovvero aspetti termodinamici e cinetici), e abbia competenze applicative minime in ordine alla risoluzione di casi concreti (scelta del dispositivo in base alla richiesta dell'utente, scelta dei materiali per aumentare l'efficienza, scelta delle tecniche di indagine più adatte per caratterizzare il funzionamento del dispositivo, etc.). E' indispensabile che lo studente abbia capacità espositive e argomentative tali da consentire la trasmissione delle sue conoscenze alla commissione esaminatrice sugli aspetti</p>

	principali del corso. Al di sotto di tale soglia, l'esame risulterà insufficiente. Quanto più, invece, l'esaminando con le sue capacità argomentative ed espositive riesce a interagire con la commissione, e quanto più le sue conoscenze e capacità applicative vanno nel dettaglio (anche quantitativo) della disciplina oggetto di verifica, tanto più la valutazione sarà positiva.
<b>OBIETTIVI FORMATIVI</b>	La prima parte del corso si prefigge di studiare gli aspetti teorici e tecnologici della conversione e dell'accumulo di energia per via elettrochimica, e di fornire le conoscenze sulle tecniche elettrochimiche di indagine per lo studio della performance dei dispositivi. La seconda parte del corso si propone di descrivere i vari tipi di dispositivi attraverso cui è possibile realizzare questi processi mettendo di volta in volta in evidenza la relazione tra i materiali scelti per realizzare i dispositivi, i processi elettrochimici al loro interno, e la prestazione elettrica.
<b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b>	Sono previste lezioni frontali, esercitazioni numeriche ed esercitazioni in laboratorio.
<b>TESTI CONSIGLIATI</b>	Modern Electrochemistry 2B, 2nd edition J. O'M. Bockris e A.K.N. Reddy Kluwer Academic/Plenum Publishers NY (2000), ISBN: 978-0-306-46325-9. Electrochemical Methods 2nd edition, A.J. Bard and L.R. Faulkner; John Wiley and Sons, INC. (2001), ISBN: 978-0-471-04372-0. Modern Batteries - An Introduction Electrochemical to Power Sources, C A Vincent, B Scrosati, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1997, ISBN: 978-0-340-66278-6. Electrochemical Supercapacitors, B.E. Conway, Kluwer Academic/Plenum Publishers NY (1999), ISBN: 978-1-4757-3058-6. Verranno segnalati recenti articoli scientifici sugli argomenti trattati e fornite delle dispense.

### PROGRAMMA

ORE	Lezioni
5	Introduzione al corso. Energetica delle catene galvaniche. Soluzioni elettrolitiche. Solventi acquosi e non acquosi.
5	Aspetti fondamentali della cinetica dei processi elettrochimici: studio del controllo cinetico per trasferimento di carica e per trasferimento di massa. Curve di scarica.
3	Processi faradici e processi non faradici. Doppio strato elettrodo/elettrolita. Modelli di Helmholtz e di Gouy-Chapman.
2	Spettroscopia ad Impedenza Elettrochimica: principi ed applicazioni per la caratterizzazione di dispositivi elettrochimici per la conversione e l'accumulo di energia. Diagrammi di Bode e di Nyquist e vari circuiti.
1	Accumulo di energia elettrochimica: introduzione ed aspetti fondamentali. Aspetti elettrochimici di base di sistemi di accumulo e/o conversione dell'energia. Stato presente della tecnologia dei suddetti sistemi per diverse applicazioni nel campo del portatile (elettronica di consumo e dispositivi biomedicali) e del trasporto leggero e pesante (veicoli elettrici ed ibridi).
5	Batterie primarie (o pile): celle convenzionali (Pile Leclanché, pile alcaline al biossido di manganese e zinco, all'ossido di mercurio, zinco -ossido di argento, zinco/aria), batterie al litio metallico.
6	Batterie secondarie (o accumulatori): accumulatori piombo - acido, nichel-cadmio, argento-zinco, zinco-aria, alluminio-aria, nichel-metallo idruro, al litio metallico, agli ioni litio. ZEBRA batteries.
2	Produzione e accumulo di idrogeno: processi tradizionali ed elettrochimici e foto-assistiti.
10	Fuel Cell: vantaggi e svantaggi dell'uso delle Fuel Cell rispetto ad altri metodi di conversione di energia. Classificazione delle Fuel Cell e loro funzionamento: aspetti termodinamici e cinetici delle reazioni di elettrodo, elettrocatalisi, elettrodi porosi a diffusione di gas, separatori, aspetti tecnologici, applicazioni e performance. Fuel cell alcalina. Fuel cell ad acido fosforico. Fuel cell ad elettrolita polimerico. Fuel cell a metanolo diretto. Studio dei meccanismi di reazione delle reazioni elettrodiche. Fuel cell a carbonati fusi. Fuel cell ad ossidi solidi. Sistemi di cogenerazione di calore ed energia elettrica con SOFC.
3	Condensatori elettrochimici/supercondensatori. Supercondensatori ibridi.
1	Disamina di tutti i dispositivi e Ragone plot.
ORE	Esercitazioni
2	Attività di laboratorio e svolgimento di esercizi numerici su aspetti termodinamici delle catene galvaniche. Discussione interattiva.
1	Elettrodi di riferimento. Misure di potenziali di elettrodo. Misure di tensione di circuito aperto. Costruzione della pila Daniell.
2	Svolgimento di esercizi numerici su aspetti cinetici delle catene galvaniche. Calcolo della Tafel slope e della densità di corrente di scambio. Calcolo della resistenza al trasferimento di carica e della corrente limite di diffusione. Discussione interattiva.
2	Controlli cinetici durante la reazione di ossido/riduzione della coppia redox $K_4Fe(CN)_6 - K_3Fe(CN)_6$ . Sviluppo di $H_2$ su Pt e Pb. Riduzione di $O_2$ .
2	Misure di impedenza su bread board con circuiti RC. Misure di impedenza in studi di cinetica. Warburg. Diagrammi di Bode e Nyquist. Levich plot con elettrodo rotante.
2	Preparazione e test elettrochimici su assemblaggi per fuel cell a bassa temperatura con elettrolita polimerico ad $H_2$ e a metanolo diretto. Discussione interattiva.

