



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2020/2021
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2020/2021
CORSO DILAUREA MAGISTRALE	INGEGNERIA CHIMICA
INSEGNAMENTO	ELETTROCHIMICA APPLICATA
TIPO DI ATTIVITA'	C
AMBITO	20911-Attività formative affini o integrative
CODICE INSEGNAMENTO	02939
SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI	ING-IND/23
DOCENTE RESPONSABILE	SANTAMARIA MONICA Professore Ordinario Univ. di PALERMO
ALTRI DOCENTI	
CFU	9
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	144
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA	81
PROPEDEUTICITA'	
MUTUAZIONI	
ANNO DI CORSO	1
PERIODO DELLE LEZIONI	1° semestre
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	SANTAMARIA MONICA Lunedì 13:00 14:00 Studio personale Edificio 6 secondo piano previa conferma per e-mail Mercoledì 12:30 14:00 Studio personale Edificio 6 secondo piano previa conferma per e-mail Venerdì 12:30 14:00 Studio personale Edificio 6 secondo piano previa conferma per e-mail

PREREQUISITI	Conoscenze di chimica di base e di termodinamica.
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	<p>Conoscenza e capacita' di comprensione Lo studente acquisira' conoscenze su aspetti fondamentali delle catene galvaniche in condizioni di equilibrio ed in condizione di circolazione di corrente. Acquisira' competenze sui fenomeni di trasporto di specie cariche in soluzione ed in fase solida. Inoltre, sara' in grado di comprendere i meccanismi di trasferimento di carica all'interfaccia elettrodo soluzione e le leggi che ne regolano la cinetica. Tali nozioni saranno poi applicate ai seguenti ambiti: meccanismi di funzionamento dispositivi elettrochimici per l'accumulo e la conversione di energia per via elettrochimica, studio dei fenomeni di corrosione dei materiali metallici in diversi ambienti; processi di elettrolisi di interesse industriale (processi elettro-metallurgici, produzione di cloro, splitting dell'acqua, electroplating).</p> <p>Capacita' di applicare conoscenza e comprensione Alla fine del corso lo studente dovra' essere in grado di:</p> <ul style="list-style-type: none"> - calcolare le grandezze termodinamiche per le reazioni che avvengono in reattori elettrochimici mediante misure di forze elettromotrici in condizioni di equilibrio. - avere una conoscenza approfondita degli aspetti termodinamici e cinetici dei piu' importanti processi elettrometallurgici che gli consentano di intervenire con conoscenze adeguate nella conduzione di impianti elettrometallurgici. - conoscere l'influenza dei fenomeni di trasporto di specie cariche sui processi elettrochimici. - ricavare i parametri fondamentali per l'ottenimento delle curve di polarizzazione dei diversi processi elettrochimici sui diversi materiali elettrodici. - operare con cognizione di causa una scelta fra i diversi tipi di materiali elettrodici per una ottimizzazione del funzionamento di impianti elettrochimici dal punto di vista del risparmio energetico e della stabilita' a lungo termine dei materiali adoperati nelle diverse condizioni di impiego. - intervenire con competenze appropriate nella progettazione e gestione di sistemi di accumulo e conversione di energia chimica in energia elettrica e viceversa. <p>Autonomia di giudizio Lo studente sara' in grado di valutare autonomamente la fattibilita' di un processo elettrochimico con particolare riferimento ad aspetti inerenti la scelta dei materiali (elettrodi, soluzioni elettrolitiche etc.), l'elettrocatalisi, i fenomeni di trasporto e l'efficienza. Lo studente sara, inoltre, in grado di valutare eventuali problemi di corrosione dei materiali metallici comunemente impiegati nell'industria di processo.</p> <p>Abilita' comunicative Lo studente acquisira' la capacita' di comunicare ed esprimere problematiche inerenti l'oggetto del corso. Sara' in grado di sostenere conversazioni su tematiche inerenti l'elettrochimica, e le applicazioni di questa disciplina in vari settori di interesse tecnologico, dall'elettrocatalisi, ai processi metallurgici, alla corrosione, alla conversione dell'energia. L'acquisizione della terminologia consona e della capacita' di utilizzarla con altri addetti ai lavori sara' curata in esercitazioni di laboratorio interattive, in cui gli studenti saranno chiamati a descrivere il funzionamento di dispositivi elettrochimici, ed a studiare gli aspetti salienti dei processi elettrochimici proponendo tecniche di indagine e soluzioni per il miglioramento delle performance e dei rendimenti.</p> <p>Capacita' d'apprendimento Lo studente avra' appreso alcuni concetti salienti dell'elettrochimica applicata, che non sono comuni con altri corsi erogati nell'ambito del suo corso di laurea e apprendera' come gestire problemi tecnici grazie ad esercitazioni che prevedono lunghe e mirate attivita' di laboratorio.</p>
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	<p>La valutazione dello studente prevede una prova orale in cui vengono proposte delle domande a risposta aperta concentrate su tre ambiti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aspetti termodinamici e cinetici dei processi elettrochimici; - trasporto di specie cariche; - processi elettrochimici di interesse tecnologico. <p>Le domande saranno in parte quantitative ed in parte qualitative, e lo studente potra' avvalersi di strumenti che lo aiutino a rispondere in maniera corretta (manuali con dati termodinamici e cinetici). Infine, lo studente discuterà un caso studio scelto fra una lista di tre proposte. Lo studente dovra' dimostrare capacita' di elaborare le conoscenze fondamentali acquisite nel corso utilizzandole per superare i problemi pratici che gli vengono posti, e capacita' di esprimersi con un linguaggio tecnicamente corretto sui contenuti dell'insegnamento. In particolare, dovra' essere in grado di utilizzare le conoscenze degli aspetti termodinamici e cinetici delle reazioni che avvengono con meccanismo elettrochimico per progettare ed ottimizzare dispositivi per</p>

	<p>l'accumulo e lo conversione di energia per via elettrochimica, per scegliere le condizioni operative per processi di elettrolisi di interesse industriale, per prevenire o controllare fenomeni di corrosione.</p> <p>Il punteggio della prova d'esame è attribuito mediante un voto espresso in trentesimi con eventuale lode. Le domande a risposta aperta peseranno fino ad un massimo di 24/30, mentre i restanti 6/30 e l'eventuale lode saranno attribuiti in base alla discussione sul caso studio. 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 sarà raggiunta quando lo studente mostri conoscenza e comprensione degli argomenti almeno nelle linee generali (soprattutto riguardanti aspetti termodinamici e cinetici delle reazioni elettrochimiche), e abbia competenze applicative minime in ordine alla risoluzione di casi concreti (scelta di elettrocatalizzatori, delle soluzioni elettrolitiche, etc.). È indispensabile che lo studente abbia capacità espositive e argomentative tali da consentire la trasmissione delle sue conoscenze alla commissione esaminatrice sugli aspetti 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.</p>
OBIETTIVI FORMATIVI	<p>Alla fine del corso lo studente acquisirà conoscenze sui fondamenti delle catene galvaniche in condizioni di equilibrio ed in presenza di circolazione di corrente. Integrerà le conoscenze sui fenomeni di trasporto di materia acquisite in corsi precedenti con quelle relative al trasporto di specie cariche. Inoltre, sarà in grado di comprendere i meccanismi di trasferimento di carica all'interfaccia elettrodo soluzione e le leggi che ne regolano la cinetica. L'utilizzazione di tali nozioni lo metterà in grado di comprendere i meccanismi di funzionamento dei dispositivi elettrochimici per l'accumulo e la conversione di energia elettrica in energia chimica e viceversa. Infine gli verranno forniti gli strumenti di base per la comprensione dei fenomeni di corrosione dei materiali metallici, nei diversi ambienti in cui possono essere utilizzati, nonché le conoscenze di base dei processi elettrometallurgici necessari per la conduzione di impianti elettrochimici.</p>
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	Lezioni frontali, esercitazioni in aula ed esercitazioni in laboratorio.
TESTI CONSIGLIATI	<p>J.O'M. Bockris, A.K. Reddy, Modern Electrochemistry , Vol.I e II, Plenum Press N.Y.4(1a Ed. 1967- 2a Ed. 2001</p> <p>M. Paunovic and M. Schlesinger, Fundamentals of Electrochemical deposition, J. Wiley Interscience, N.Y. (1998)</p> <p>G. Bianchi- T. Mussini, Fondamenti di Elettrochimica, Masson (1993)</p> <p>Dispense ed appunti del corso.</p>

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
20	<p>Energetica delle catene galvaniche: Relazioni tra grandezze termodinamiche e grandezze elettriche in una catena galvanica- Forza elettromotrice di una catena galvanica - Circolazione di corrente nelle catene galvaniche - Reazioni di catena - Dissipazioni nelle catene galvaniche - Effetti termici delle reazioni di catena - Catene galvaniche in equilibrio: Determinazione dei coefficienti di attività in soluzioni elettrolitiche – Coefficienti di attività di metalli in lega - Pila Daniell -Potenziale Volta e potenziale Galvani - Espressione della f.e.m. di una pila mediante i potenziali elettrochimici - Lavoro di estrazione elettronica - Tensioni di contatto - Classificazione delle diverse interfacce: elettrodi di prima e di seconda specie - Elettrodo a idrogeno – Serie elettrochimica dei potenziali di elettrodo - Indice di nobiltà di un metallo - Elettrodi di riferimento – Tensioni relative di elettrodo - Livello di Fermi in soluzione e potenziale assoluto - Diagrammi di Pourbaix</p>
5	<p>Interfacce Elettrodiche all'equilibrio: Struttura delle interfacce elettrodo/vuoto ed elettrodo/soluzione – Doppio strato elettrodo/soluzione: modelli di Helmholtz e di Gouy-Chapmann - Distribuzione del potenziale elettrostatico alla interfaccia elettrodo/soluzione - Influenza della struttura elettronica del materiale elettrodico sulla capacità di doppio strato. Determinazione del potenziale di banda piatta e del potenziale di zero carica in giunzioni Semiconduttore/elettrolita e Metallo/elettrolita.</p>
10	<p>Fenomeni di trasporto nelle soluzioni elettrolitiche: Meccanismi del trasporto ionico in soluzione – Trasporto diffusivo in regime stazionario - Coefficiente di diffusione: definizione fenomenologica, dipendenza dalle variabili fisiche e chimiche, relazione con i parametri microscopici - Diffusione in condizioni non stazionarie: seconda legge di Fick - Conduzione elettrica in soluzione - Leggi di Faraday - Conducibilità equivalente - Legge di Kolrausch - Mobilità ionica - Relazioni di Einstein e di Stokes-Einstein - Equazione di Nerst-Einstein - Trattazione del trasporto ionico mediante la teoria dei processi di velocità - Interdipendenza dei flussi ionici - Numeri di trasporto - Potenziale di diffusione - Equazione di Planck-Henderson - Solventi non acquosi – Regola di Walden. Potenziali di giunzione tra elettroliti. Equazione di Henderson.</p>

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
12	Cinetica di elettrodo ed Elettrocatalisi. Potenziale di elettrodo sotto circolazione di corrente: sovratensione - Controllo cinetico di una reazione elettrochimica - Correnti parziali: densita' di corrente di scambio – Equazione di Butler e Volmer - Cenni alla teoria di Marcus-Gerischer per i processi di elettrodo. Approssimazioni a bassi ed alti campi: legge di Tafel - Resistenza di trasferimento di carica - Elettrodi idealmente polarizzabili ed idealmente non polarizzabili - Influenza del trasferimento di materia sulla cinetica di un processo elettrodo - Corrente limite di diffusione - Teoria dello strato limite di Nerst - Sovratensione di reazione: omogenea ed eterogenea - Processi di elettrocristallizzazione: sovratensione di cristallizzazione Sovratensione di scambio ionico. Reazioni multi step: sviluppo di idrogeno, ossigeno e cloro.
10	Influenza della natura del materiale elettrodo sulle reazioni di elettrodo: reazioni di sfera interna ed esterna - Classificazione dei metalli per la cinetica di scambio ionico. Elettrodi ad ossido: Anodi Dimensionalmente Stabili- Aspetti cinetici e termodinamici nei processi di produzione di cloro, ossigeno ed idrogeno. Processi elettrometallurgici - Aspetti termodinamici e cinetici nei processi di estrazione e di raffinazione elettrochimica dei metalli - Produzione di; Cu, Zn ed Al - Raffinazione di Cu, Pb ed Al.
8	Corrosione ad umido e a secco. Uso dei diagrammi di Pourbaix nello studio della corrosione ad umido dei metalli.- Diagrammi di Evans - Teoria dei potenziali misti -Velocita' di corrosione e resistenza di polarizzazione - Curve di passivita' - Influenza di parametri chimico-fisici sul comportamento corrosivistico dei metalli –
ORE	Esercitazioni
4	Attivita' di laboratorio e svolgimento di esercizi numerici su aspetti termodinamici delle catene galvaniche. Equazione di Nernst e stima di forze elettromotrici. Discussione interattiva.
4	Attivita' di laboratorio e svolgimento di esercizi numerici su aspetti cinetici delle catene galvaniche. Densita' di corrente di scambio. Diagrammi di Tafel. Stima della corrente limite. Elettrodo rotante ed equazione di Levich. Discussione interattiva
2	Misure di impedenza con circuiti RC costruiti su bread board e studio della loro risposta in frequenza. Diagrammi di Bode e di Nyquist. Misure di impedenza per reazioni in presenza di controllo cinetico per trasferimento di carica e in controllo cinetico per diffusione. Discussione interattiva.
3	Processi elettrochimici spontanei in generatori. Preparazione e test elettrochimici su assemblaggi per fuel cell a bassa temperatura con elettrolita polimerico. Discussione interattiva.
3	Processi di corrosione. Curve di passivita' per acciaio al carbonio e acciaio inox. Processi di anodizzazione di Al. Discussione interattiva.