



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2021/2022
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2022/2023
CORSO DILAUREA	INGEGNERIA CHIMICA E BIOCHIMICA
INSEGNAMENTO	TERMODINAMICA DEI PROCESSI CHIMICI E BIOCHIMICI
TIPO DI ATTIVITA'	B
AMBITO	50297-Ingegneria chimica
CODICE INSEGNAMENTO	19578
SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI	ING-IND/23
DOCENTE RESPONSABILE	INGUANTA ROSALINDA Professore Associato Univ. di PALERMO
ALTRI DOCENTI	
CFU	12
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	192
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA	108
PROPEDEUTICITA'	
MUTUAZIONI	
ANNO DI CORSO	2
PERIODO DELLE LEZIONI	1° semestre
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	INGUANTA ROSALINDA Martedì 15:00 18:00 Studio Secondo Piano ed. 6 Giovedì 15:00 18:00 Studio Secondo Piano ed. 6

DOCENTE: Prof.ssa ROSALINDA INGUANTA

PREREQUISITI	Conoscenze di Chimica Generale: Lettura del sistema periodico degli elementi, gas perfetti, legame chimico, chimica delle soluzioni, reazioni acido/base e di ossido-riduzione, diagrammi di stato binari . -Conoscenze di Fisica: 1° e 2° Principio della Termodinamica, ciclo di Carnot, modello statistico del gas perfetto - Conoscenze di Analisi Matematica Derivate, Integrali, Studio di funzioni, Calcolo differenziale, Equazioni differenziali, Teoremi fondamentali, Sviluppo in serie
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	Conoscenza e capacita' di comprensione Acquisizione degli strumenti per la conoscenza dei fondamenti della Termodinamica Chimica in termini di scambi di energia e materia fino al raggiungimento dell'equilibrio. Capacita' di applicare conoscenza e comprensione Capacita' di potere determinare le relazioni fra scambi di energia e di materia e condizioni di equilibrio, al fine di eseguire bilanci di energia e di materia. Autonomia di giudizio Essere in grado di valutare le migliori procedure di calcolo per studiare gli equilibri chimici e fisici. Abilita' comunicative Capacita' di esporre i motivi dell'uso di determinate procedure di calcolo e di metodologie di indagine per la determinazione dei parametri di calcolo. Capacita' d'apprendimento Capacita' di aggiornamento con la consultazione delle pubblicazioni scientifiche proprie del settore. Capacita' di seguire, utilizzando le conoscenze acquisite nel corso, insegnamenti concernenti sia i processi chimici che la progettazione di apparecchiature .
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	La prova finale di esame consiste di una prova scritta ed un'eventuale prova orale. La prova scritta, della durata non inferiore alle 5 ore, riguarda la risoluzione di 2 esercizi di tipo numerico (4h) e di dieci quesiti che richiedono una trattazione esclusivamente teorica (1h). La prova scritta ha l'obiettivo di accertare le abilita' e competenze previste. I due esercizi numerici riguardano lo studio degli equilibri chimici e fisici e sono formulati con l'obiettivo di valutare le conoscenze acquisite e la capacita' di applicarle. Le 10 domande di teoria, a risposta aperta e da svolgere senza l'ausilio dei libri di testo, riguarderanno argomenti del programma riportati nella scheda di trasparenza ed hanno lo scopo di verificare le conoscenze fondamentali del corso, la capacita' di rielaborare i concetti acquisiti e di collegamento tra gli stessi, la capacita' di sintesi e la chiarezza di esposizione. L'eventuale orale vertera' su argomenti per i quali le risposte della prova scritta sono stati insufficienti e/o non trattati completamente. La valutazione finale, opportunamente graduata, sara' formulata sulla base delle seguenti condizioni: a) Conoscenza sufficiente degli argomenti e delle teorie affrontati nell'insegnamento; sufficiente grado di consapevolezza e di autonomia nell'applicazione delle teorie per la risoluzione di problemi (voto 18-21); b) Conoscenza discreta degli argomenti e delle teorie affrontati nell'insegnamento; discreto grado di consapevolezza e di autonomia nell'applicazione delle teorie per la risoluzione di problemi (voto 22-25); c) Buona conoscenza degli argomenti e delle teorie affrontati nell'insegnamento; buon grado di consapevolezza e di autonomia nell'applicazione delle teorie per la risoluzione di problemi (voto 26-28); d) Ottima conoscenza degli argomenti e delle teorie affrontati nell'insegnamento; eccellente grado di consapevolezza e di autonomia nell'applicazione delle teorie per la risoluzione di problemi (voto 29-30L).
OBIETTIVI FORMATIVI	La conoscenza adeguata degli aspetti metodologici-operativi relativi agli argomenti oggetto del corso e la capacita' di utilizzare tale conoscenza per interpretare e descrivere i problemi dell'ingegneria.
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	L'insegnamento si svolge nel primo semestre del II anno e consiste di lezioni frontali ed esercitazioni numeriche in aula. Gli esercizi svolti in aula mirano a simulare la prova finale di esame.
TESTI CONSIGLIATI	Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics (7th edition) J. M. Smith, H. C. Van Ness, and M. M. Abbott, McGraw-Hill (2004) ISBN: 9781259921896 Chemical, Biochemical, and Engineering Thermodynamics S. I. Sandler, Wiley - 2006 ISBN: 978-1-119-34378-3 Chemical Engineer's Handbook 9th ed. Perry, Green, McGraw-Hill, Inc (2007) EAN: 9780071834087

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
2	Introduzione alla Termodinamica Presentazione del corso - Proprieta' del sistema – Classificazione delle proprieta' – Variabili di stato - Analisi dimensionale
3	Il Primo Principio della Termodinamica ed altri concetti base Scambi di calore e lavoro – Energia – Energia interna – Energia Totale - Primo Principio quale principio di conservazione – Entalpia – Capacita' Termica
2	Energetica delle trasformazioni dei gas – Espansione di gas Effetto Joule-Thompson
2	Sistemi aperti Equazione di continuita' – Bilanci di energia e di materia in condizioni stazionarie
3	Termochimica Variabili chimiche evolutive – Reazioni indipendenti - Effetti di energia interna ed entalpici di reazione – Legge di Hess generalizzata – Calori standard di formazione e di combustione – Equazione di Kirchoff – Bilanci macroscopici di calore e materia in sistemi chiusi – Reazioni adiabatiche
3	Il Secondo Principio della Termodinamica Trasformazioni reversibili ed irreversibili – Ciclo di Carnot – Entropia – Creazione di Entropia – Entropia come disordine
3	Il Terzo Principio della Termodinamica Entropia dallo zero assoluto a T Proprieta' Termodinamiche dei Fluidi Proprieta' residue - Proprieta' residue dalle equazioni di stato
2	Cicli termodinamici
4	Evoluzione ed Equilibrio Energia libera – Entalpia libera – Effetti energetici di reazione – Condizione di equilibrio e di riposo - Funzioni caratteristiche - Equazioni di Gibbs ed Helmholtz – Equazioni di Maxwell
5	Termodinamica delle soluzioni Definizione generalizzata di classe di sistemi, Componenti, Costituenti, Componenti indipendenti - Grandezze parziali molari – Equazione di Gibbs-Duhem – Effetti entalpici di miscela – Potenziali chimici
5	Potenziali chimici di componenti in fase gas Gas perfetto puro - Miscela gassose perfette- Effetti di miscela – Gas reale puro: Fugacita' – Dipendenza della fugacita' dalla pressione - Calcolo della fugacita: correlazioni generalizzate – Coefficienti di temperatura della fugacita' – miscele gassose ideali: Legge di Lewis e Randall – Effetti di miscela
7	Potenziali chimici di componenti in fasi condensate Soluzioni ideali – Soluzioni reali: attivita' e coefficiente di attivita' – Sistemi solvente/solvente e soluto/solvente – Coefficienti di temperatura e di pressione del coefficiente di attivita' – Fugacita' in sistemi condensati puri e misti – Effetti di miscela – Funzioni in eccesso - Equazioni di van Laar, Margules
15	Equilibri fisici: Regola delle fasi - Equazione di Clausius Clapeyron e sua integrazione – Equazione di Raoult – Equazione di Henry – Solubilita' di un gas in una fase condensata -Equilibrio liquido/vapore a bassa pressione per sistemi reali – Separazioni flash – Equilibrio liquido/vapore di liquidi immiscibili – Equilibrio di ripartizione liquido/liquido - Solubilita' di un solido in un liquido – Abbassamento crioscopico ed innalzamento ebullioscopico – Pressione osmotica.
3	Diagrammi di stato di sistemi a uno e due componenti indipendenti Metodi di costruzione dei diagrammi di stato - Curve G vs composizione -Coefficiente di attivita' nella lacuna di miscibilita' – Formazione di composti intermedi
3	Diagrammi di stato di sistemi a tre componenti indipendenti Diagrammi triangolari – Processo di cristallizzazione
5	Equilibri Chimici Equilibri omogenei in fase gas – Equilibri in fase condensata – Equilibri misti – Reazioni eterogenee – Stabilita' degli equilibri chimici – Spostamenti di equilibrio chimico
3	Cenni di cinetica chimica
ORE	Esercitazioni
1	Grandezze fisiche ed unita' di misura
2	Stati della materia. Diagrammi P-T: regione supercritica. Diagrammi di Andrews. Comportamento volumetrico di un fluido reale: effetto di riscaldamento isocoro. Equazione di stato. Coefficienti di espansione isobara e di comprimibilita' isoterma. Proprieta' del gas ideale. Miscele perfette: leggi di Dalton e di Amagat.
2	Esempi sulle miscele perfette. Gas reali: isoterme di Amagat. EOS dei gas reali: equazione di Van der Waals, EOS cubiche . Equazione generalizzata, fattore di comprimibilita: teorema degli stati corrispondenti. Esercizi sul comportamento volumetrico di un gas reale
2	Esercizi sul comportamento volumetrico di un gas reale. Teorema degli stati corrispondenti a 3 parametri: correlazioni di Pitzer per il calcolo di Z. Esempi. Miscele gassose perfette, ideali e reali (cenni)

ORE	Esercitazioni
1	Esercizi sul comportamento volumetrico di un gas reale. Miscele ideali: approssimazione di Amagat per il calcolo di Zm. Bilanci macroscopici di materia in sistemi chiusi ed aperti. Base di calcolo, forme semplificate del bilancio. Esempio di bilancio in assenza di reazioni chimiche. Bilanci di massa in sistemi sedi di reazioni. Grado di avanzamento di una reazione.
2	Esercizi sul comportamento volumetrico di miscele ideali di gas e sui bilanci di materia in assenza di reazioni. Bilanci di massa in sistemi sedi di reazioni: reagente limitante, conversione e resa. Esempio di bilancio di materia in presenza di reazioni chimiche. Bilanci di massa atomici. Bilancio integrale di energia in sistemi aperti
2	Esempio di bilancio termico in un sistema sede di reazione chimica. Temperatura teorica di fiamma. Temperatura adiabatica di reazione. Esercizio sul calcolo della temperatura adiabatica di reazione. Reazioni con cambio della configurazione fasica. Entropia e 2° principio della Termodinamica. Equazioni caratteristiche.
2	Esercizi sui bilanci termici in sistemi sedi di una o piu' reazioni. Esercizio sul calcolo della variazione di entropia in un sistema isolato. Effetto entropico standard di reazione. Energia libera ed entalpia libera. Significato di potenziale termodinamico per F e G. Entalpia libera standard di reazione: esempio di calcolo. Effetto della pressione sulle proprieta' termodinamiche di solidi, liquidi e gas. Tabelle e diagrammi termodinamici: descrizione.
4	Proprieta' termodinamiche residue. Correlazioni di Pitzer per il calcolo di entalpia ed entropia residua.
2	Grandezze parziali molari: proprieta' e relazioni principali. Potenziale chimico: definizione e significato fisico. Espressioni del potenziale chimico per gas puri perfetti e reali. Fugacita': dipendenza da T e P. Calcolo del coefficiente di fugacita' mediante le correlazioni di Pitzer. Esempio. Potenziale chimico di una miscela perfetta.
1	Esercizi sul calcolo di H, S ed U per un gas reale ad alta P. Esercizio sul calcolo della fugacita' per gas puri. Fugacita' di un gas in miscela: dipendenze da T, P e composizione. Miscele ideali: legge di Lewis-Randall. Effetti di miscelamento in sistemi ideali e reali
1	Esercizi sulla fugacita' di gas in miscela ideale. Equazione di Clausius-Clapeyron e sua applicazione agli equilibri S-L ed S-S. Esempi. Integrazioni dell'equazione di Clausius-Clapeyron per gli equilibri L-V: dipendenza del calore latente da T. Equazione di Antoine. Esempio
2	Esercizi sugli equilibri in sistemi ad un componente. Fasi condensate miste: comportamento da solvente e da soluto. Potenziale chimico in fasi condensate miste: coefficiente di attivita' per i solventi. Equilibri L-V in sistemi a 2 componenti: legge di Raoult generalizzata.
1	Esercizi sull'uso delle equazioni di Raoult e sugli equilibri L-V in sistemi ideali. Liquidi immiscibili: distillazione in corrente di vapore. Esercizio. Legge di Henry generalizzata: esempio. Solubilita' dei gas in liquidi.
3	Dipendenza della solubilita' dalla temperatura. Esercizio sulla costruzione del diagramma di equilibrio per liquidi immiscibili. Andamenti dei coefficienti di attivita' con la concentrazione; equazione di Gibbs-Duhem. Equilibri di distillazione: azeotropo, lacuna di miscibilita. Equazioni di Van Laar, Margules e simmetrica. Esempio di una torre di assorbimento. Loops di calcolo sugli equilibri di distillazione a bassa P e calcolo delle coordinate azeotropiche.
2	Equilibri chimici: DG, DG° e costante di equilibrio di una reazione; legge di azione di massa. Espressione della Keq per reazione in fase gas. Calcolo di DG° e Keq in funzione di T. Esempio.
3	Esercizio sul calcolo della composizione di equilibrio per reazione omogenea in fase gas a bassa P. Analisi del grado di varianza per reazioni miste. Reazioni di decomposizione: esempio di calcolo. Espressioni della Keq per vari tipi di reazione e per reazioni miste. Esempi. Criterio evolutivo di una reazione. Influenza di T, P e composizione iniziale sulla resa all'equilibrio.
5	Simulazione della prova finale di esame