



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

## SYLLABUS DEL CORSO

### Metals Science and Sustainability

2526-1-FSM02Q009

---

#### Obiettivi

Comprendere le peculiari proprietà dei materiali metallici, e delle leghe, i principali processi che avvengono in esse (nucleazione di difetti, diffusione atomica, trasformazioni di fase) e il ruolo degli elementi metallici nelle applicazioni funzionali, con una attenzione alla relativa scarsità e al loro riciclo. In sintesi, gli studenti acquisiranno:

1. Conoscenza e capacità di comprensione della termodinamica e della cinetica che presiedono i processi fisici nei metalli (metallurgia fisica)
2. Conoscenza e capacità di comprensione applicate nei processi di sintesi e recupero dei metalli rari nei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)
3. Autonomia di giudizio nell'utilizzo di alcuni metalli o di altri nelle principali tecnologie dei prodotti industriali.
4. Abilità comunicative nel contesto dei diagrammi di fase che presiedono la progettazione di nuove leghe metalliche, o composti intermetallici.
5. Capacità di apprendere nuovi contesti di materiali non trattati nel corso, attraverso la conoscenza delle metodologie termodinamiche del tutto generali che hanno assimilato nelle lezioni.

#### Contenuti sintetici

Introduzione ai materiali metallici e alle leghe  
Metallurgia fisica  
Sostenibilità nelle applicazioni dei metalli

#### Programma esteso

INTRODUZIONE ALLA SCIENZA DEI METALLI

- Elementi di proprietà macroscopiche, strutturali e funzionali
- Leghe e composti intermetallici
- Energia di coesione di metalli semplici
- Stabilità strutturale di metalli semplici
- Energia di coesione nei metalli di transizione
- Stabilità strutturale dei metalli di transizione
- Richiami di termodinamica
- Richiami di termodinamica e cinetica
- Potenziale atomico per le vacanze

## **METALLURGIA FISICA**

- Densità di equilibrio di vacanze e interstiziali
- Dislocazioni I
- Dislocazioni II
- Dislocazioni III
- Dislocazioni IV
- Superfici metalliche
- Interfacce nei metalli
- Fondamenti dei diagrammi di stato
- Energia libera di miscelazione
- Equilibrio tra due fasi
- Sistemi con piena solubilità solida
- Sistemi con gap di miscibilità
- Diagrammi di stato significativi
- Fondamenti della diffusione nei solidi
- Il coefficiente di diffusione
- Potenziali chimici vs concentrazione
- Sistemi di riferimento per la 2° Legge di Fick
- Termodinamica irreversibile e diffusione
- Contributi delle interfacce e della deformazione alla diffusione
- Soluzioni analitiche per l'equazione di diffusione
- Ulteriori soluzioni dell'equazione di diffusione
- Classificazione delle trasformazioni di fase
- Nucleazione omogenea ed eterogenea
- Forma dei nuclei in funzione della deformazione
- Crescita controllata dall'interfaccia
- Crescita controllata dalla diffusione
- Equazione di Avrami e grossolanizzazione
- Trasformazione continua e decomposizione spinodale I
- Decomposizione spinodale II
- Trasformazioni ordine-disordine
- Trasformazioni martensitiche I
- Trasformazioni martensitiche II
- Trasformazioni martensitiche III

## **SOSTENIBILITÀ NELLE APPLICAZIONI METALLICHE**

- Contenuto di metalli nei rifiuti
- Esigenze strategiche di metalli nell'UE
- Tecniche convenzionali di recupero dei metalli
- Elementi di biolisciviazione
- Riciclo dei rifiuti elettronici
- Riciclo dei rifiuti per l'accumulo di energia

## **Prerequisiti**

Elementi di Fisica dello Stato Solido, elementi di Termodinamica e dei diagrammi di fase. Chimica inorganica di base.

## **Modalità didattica**

48 ore di lezioni di un'ora in modalità erogativa in presenza. Non sono previste lezioni in remoto, a meno della possibilità di erogazione sincrona nello stesso orario, nel caso di eventi straordinari che impediscano la partecipazione in presenza.

## **Materiale didattico**

Testo principale: Gregory N. Haidemenopoulos, Physical Metallurgy, CRC Press 2018. Per la parte di sostenibilità: Hong Hocheng et al., Biohydrometallurgical Recycling of Metals from Industrial Wastes, second edition, CRC Press, 2025. Inoltre, tutti i pdf delle presentazioni in powerpoint delle lezioni, inclusive di alcune fonti di approfondimento suggerite, sono caricati sulla pagina e-learning del Corso.

## **Periodo di erogazione dell'insegnamento**

secondo semestre del primo anno

## **Modalità di verifica del profitto e valutazione**

Esame orale, a partire dalla fine del corso, per nove sessioni annuali d'esame: colloquio sugli argomenti svolti a lezione attraverso tre domande. Verranno valutate le competenze acquisite nelle lezioni, come descritte nei pdf delle relative presentazioni messe a disposizione degli studenti, e la capacità di argomentazione dello studente, anche attraverso l'utilizzo di grafici ed equazioni.

## **Orario di ricevimento**

A disposizione degli studenti, tramite richiesta di colloquio, concordata via e-mail.

## **Sustainable Development Goals**

ACQUA PULITA E SERVIZI IGIENICO-SANITARI | ENERGIA PULITA E ACCESSIBILE | IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE | CITTÀ E COMUNITÀ SOSTENIBILI | CONSUMO E PRODUZIONE

RESPONSABILI

---