



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

## SYLLABUS DEL CORSO

### Termodinamica di Non Equilibrio

2526-1-F5402Q015

---

#### Obiettivi

L'obiettivo del corso è di fornire agli studenti un quadro concettuale moderno della termodinamica dei sistemi fuori equilibrio, con esempi di applicazioni notevoli.

#### Conoscenze e capacità di comprensione acquisite

- Impiego di adeguati modelli teorici nella analisi di sistemi non all'equilibrio
- Procedure per il calcolo delle grandezze termodinamiche non all'equilibrio
- Criteri per la valutazione della stabilità di sistemi termodinamici non all'equilibrio

#### Conoscenze e capacità di comprensione applicative acquisite

- Scrittura delle equazioni evolutive di sistemi termodinamici fuori equilibrio
- Analisi delle connessioni tra termodinamica e meccanica statistica fuori equilibrio
- Strumenti per l'analisi dei sistemi di conversione dell'energia anche in rapporto alla loro sostenibilità

#### Autonomia di giudizio acquisita

- Sviluppo di capacità critiche nell'impiego dei potenziali termodinamici non all'equilibrio
- Capacità di analisi critica delle teorie termodinamiche

#### Abilità comunicative

Uso rigoroso del linguaggio naturale in ambito scientifico

#### Capacità di apprendere

Attivazione di competenze critiche nell'analisi di modelli scientifici

## **Contenuti sintetici**

Termodinamica di equilibrio da un punto di vista superiore. Termodinamica vicino all'equilibrio. Macchine termiche non all'equilibrio. Termodinamica lontana dall'equilibrio. Sistemi dinamici.

## **Programma esteso**

### **Termodinamica di equilibrio da un punto di vista superiore**

Ambito e definizioni; le leggi fondamentali; equazione di Gibbs; relazioni fondamentali ed equazioni di stato; relazione di Eulero; relazione di Gibbs-Duhem; trasformazioni di Legendre e potenziali termodinamici; principi estremali; stabilità degli stati di equilibrio; termodinamica chimica di equilibrio.

### **Termodinamica vicino all'equilibrio**

Concetti di base; ipotesi di equilibrio locale; bilancio entropico; equazioni di evoluzione; stati stazionari; applicazioni alla conduzione del calore e al trasporto di massa; limiti della termodinamica classica dei processi irreversibili. Fenomeni di trasporto accoppiati: conduzione elettrica; effetti termoelettrici; termodiffusione; diffusione attraverso una membrana.

### **Macchine termiche non all'equilibrio**

Termodinamica su tempi limitati: ciclo di Carnot e modello di Curzon-Ahlborn; motori termici eso- ed endo-reversibili. La sostenibilità dal punto di vista termodinamico.

### **Termodinamica lontano dall'equilibrio**

Ambito della termodinamica irreversibile estesa; leggi del calore di Fourier e di Cattaneo; entropia estesa; applicazione al trasporto di calore a nanosistemi in condizioni stazionarie. La formula di Einstein e il secondo momento delle fluttuazioni all'equilibrio; derivazione delle relazioni di reciprocità di Onsager-Casimir.

### **Sistemi dinamici**

Reazioni chimiche e macchine molecolari: reazioni chimiche singole e accoppiate; reazioni chimiche cicliche e relazioni di reciprocità di Onsager; efficienza del trasferimento di energia; reazioni chimiche, trasporto di massa e macchine molecolari; reazioni autocatalitiche e diffusione; morfogenesi. Instabilità e formazione di strutture: teorie lineari e non lineari di stabilità; instabilità chimiche; morfogenesi spazio-temporale in sistemi eterogenei; strutture di Turing.

## **Prerequisiti**

Conoscenze di base di termodinamica e meccanica statistica di equilibrio.

## **Modalità didattica**

24 lezioni da 2 ore in presenza, Didattica Erogativa

Le lezioni saranno tenute in lingua italiana se non saranno presenti studenti Erasmus; in inglese in caso contrario.

## **Materiale didattico**

Georgy Lebon, David Jou, José Casas Vázquez, *Understanding Non-equilibrium Thermodynamics: Foundations, Applications, Frontiers*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008,  
<http://login.proxy.unimib.it/login?url=http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-74252-4>  
Appunti del docente

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

Primo anno, secondo semestre

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

Esame orale sulla materia presentata a lezione. Il colloquio orale è volto a verificare il livello delle conoscenze acquisite, la comprensione dei principali snodi concettuali nello sviluppo delle teorie presentate durante il corso ed il corretto uso del linguaggio da parte dell'esaminando/a.

## **Orario di ricevimento**

Su appuntamento

## **Sustainable Development Goals**

ENERGIA PULITA E ACCESSIBILE

---