



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## TRANSPORT PHENOMENA IN MATERIALS

**ANTONIO BERTEI**

Anno accademico  
CdS

2022/23  
MATERIALS AND  
NANOTECHNOLOGY  
727II  
6

Codice  
CFU

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
TRANSPORT PHENOMENA IN MATERIALS	ING-IND/22	LEZIONI	48	ANTONIO BERTEI

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Lo studente acquisirà le conoscenze necessarie dei fondamenti del trasporto di energia, massa, specie e quantità di moto secondo l'approccio dell'ingegneria chimica, cercando l'unificazione dei diversi meccanismi di trasporto. Lo studente imparerà le equazioni costitutive di flussi convettivi e diffusivi così come le leggi di conservazione al fine di modellare sistemi fisici ed ottenere le distribuzioni di specie, temperatura e campo di velocità. L'insegnamento fornisce esempi pratici ed equazioni immediatamente applicabili per cogliere i comportamenti caratteristici dei fenomeni di trasporto e le relative quantità adimensionali, costruendo le fondamenta per applicazioni più avanzate. Specifiche esercitazioni utilizzeranno fogli di calcolo e codici numerici per assistere la risoluzione numerica e rafforzare le competenze computazionali. Il corso è volto ad omogeneizzare i diversi background degli studenti.

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

Durante l'esame finale orale, il livello di conoscenza sarà verificato attraverso esercizi quantitativi da essere impostati e risolti dal candidato. Gli esercizi copriranno i concetti chiave del trasporto di calore e di specie chimica, imitando ed andando oltre a quelli presentati nel corso. La capacità del candidato di evidenziare l'unificazione dei fenomeni di trasporto ed il framework delle soluzioni matematiche, facendo parallelismi tra branche diverse, è apprezzata. La propria terminologia tecnica e la capacità di tradurre i concetti per diverse applicazioni sono anch'essi oggetto di valutazione.

#### *Capacità*

Al termine del corso lo studente:

- possiede una profonda conoscenza dei fondamenti dei fenomeni di trasporto (specie, calore e quantità di moto) secondo una prospettiva unificata dell'ingegneria chimica
- è in grado di utilizzare bilanci quantitativi (stazionari e dinamici) e di impostare modelli semplici, con o senza soluzione analitica
- avrà una comprensione generale che gli permetta di applicare la teoria ad applicazioni più avanzate
- possiede una certa esperienza pratica sulla simulazione numerica di fenomeni di trasporto con codici commerciali

#### *Modalità di verifica delle capacità*

Durante la prova finale verranno svolte esercitazioni pratiche per valutare la capacità dello studente di impostare la loro corretta implementazione. Per l'ammissione alla prova finale non sono richiesti progetti specifici o compiti a casa, ma il candidato è libero di presentare una applicazione da lui preparata.

#### *Comportamenti*

Lo studente svilupperà una corretta intuizione e un punto di vista unificato sulla conservazione di massa, specie, energia e quantità di moto, costruendo un approccio ingegneristico e fisico alla soluzione matematica, anche in applicazioni non discusse durante il corso.

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Durante la prova orale, l'esaminatore valuterà il grado di approfondimento acquisito dallo studente nella sua capacità di applicare i concetti al di là di quanto discusso durante il corso. La padronanza della materia sarà valutata chiedendo connessioni tra diversi campi e indagando la comprensione dei fondamenti fisici.



## UNIVERSITÀ DI PISA

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Derivate e integrali, algebra and operazioni matriciali, conoscenza di base di equazioni differenziali ordinarie ed alle derivate parziali.

### Indicazioni metodologiche

L'erogazione avviene tramite la piattaforma on-line MS Teams e/o in aula. Si consiglia la frequenza alle lezioni.

Gli incontri con il docente devono essere organizzati direttamente via email e attraverso la piattaforma e-learning.

Attività didattiche:

frequentare le lezioni

frequentare e svolgere tutorial partecipandovi attivamente

essere coinvolto nelle discussioni in classe

Metodi didattici: lezioni frontali + esercitazioni in aula

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

**INTRODUZIONE.** Equilibrio locale, definizione di flussi convettivi e diffusivi, proprietà di trasporto dei materiali, numeri adimensionali (Reynolds, Prandtl, Schmidt, Peclet, ecc), origine delle equazioni diffusive e random walk. **EQUAZIONI DI GOVERNO MICROSCOPICHE.** Derivazione di equazioni di bilancio microscopiche (generale, massa, specie, energia interna, quantità di moto), approcci euleriani e lagrangiani, notazione tensoriale e operatori. **CONDUZIONE DI CALORE STAZIONARIA.** Equazione di governo e condizioni al contorno, legge di Newton del raffreddamento, numeri di Biot e Nusselt, conduzione termica unidirezionale (coordinate lineari, cilindriche e sferiche), conduzione termica effettiva dei materiali compositi, conduzione termica con sorgente di calore. **CONDUZIONE DEL CALORE DIPENDENTE DAL TEMPO.** Risposta al gradino in una lastra semi-infinita, soluzioni autosimili, risposta all'impulso di calore. **FONDAMENTI DEL TRASPORTO DI MATERIA.** Flussi e velocità di specie, convezione vs diffusione, massa vs base molare, equazioni costitutive della diffusione (legge di Fick), equazioni di bilancio e condizioni al contorno. **TRASPORTO DI MATERIA STAZIONARIO.** Diffusione in un film stagnante, coefficiente di trasporto di massa efficace, numero di Sherwood, semplificazioni nel limite diluito, diffusione con reazione eterogenea, diffusione con reazione omogenea, modulo di Thiele e fattore di efficacia, scala dei regimi (cinetico, interno ed esterno). **TRASPORTO DI MATERIA NEL TEMPO.** Diffusione unidirezionale in lastra semi-infinita con condizione al contorno di tipo Robin (soluzione di Crank). **IL TRASPORTO DI QUANTITÀ DI MOTO.** Flussi laminari e turbolenti, profili di velocità in un tubo, fluidi non newtoniani, flusso in mezzi porosi, effetti di Knudsen. **ESERCITAZIONI.** Utilizzo di Microsoft Excel e dei codici in Comsol Multiphysics: utilizzo di base dei codici, scambio isotopico, cottura di un mattone ceramico con trasformazione di fase. **SEMINARI.** Fenomeni di trasporto nelle batterie agli ioni di litio.

### Bibliografia e materiale didattico

Dispense fornite dal docente, che contengono specifiche indicazioni a testi di riferimento (non strettamente necessari), tra i quali:

Mauri, Transport Phenomena in Multiphase Flows, Springer 2015, ISBN: 978-3-319-15792-4

R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot, Transport Phenomena 2nd ed., Wiley 2002, ISBN: 0-471-41077-2

Crank, The Mathematics of diffusion 2nd ed., Clarendon Press 1975, ISBN: 0-19-853344-6

### Indicazioni per non frequentanti

Nessuna variazione per i non frequentanti

### Modalità d'esame

La valutazione globale dei risultati di apprendimento viene effettuata con una prova orale (1h in media). L'esame consiste in 2-3 esercizi pratici da svolgere e risolvere a cura del candidato, riguardanti gli argomenti chiave del corso (trasporto di specie e calore, soluzioni stazionarie e transitorie). Sulla base degli esercizi verranno valutate le conoscenze generali sul significato di grandezze adimensionali, comportamenti asintotici, correlazioni tra diversi campi. La corretta esecuzione delle esercitazioni pratiche è un criterio necessario per superare l'esame.

### Altri riferimenti web

MS Team: 727II - TRANSPORT PHENOMENA IN MATERIALS [WNT-LM] a.a.22/23

Ultimo aggiornamento 29/07/2022 16:44