

Docente responsabile dell'insegnamento/attività formativa

Nome | Mauro

Cognome | Chinappi

Denominazione insegnamento/attività formativa

Italiano | Turbolenza e fluidi complessi

English | Turbulence and complex fluids

Aree culturali

Digital

Informazioni insegnamento/attività formativa

A.A. | 2024-2025

L

LM

LM CU

CdS | Ingegneria Meccanica

Codice |

Canale | Unico

CFU | 6

Lingua | Italiano

Docente del modulo didattico (compilare solo per attività formative articolate in moduli)

Nome |

Cognome |

Denominazione modulo didattico (compilare solo per attività formative articolate in moduli)

Italiano |

English |

Obiettivi formativi e risultati di apprendimento attesi

Digital

OBIETTIVI FORMATIVI: Il corso fornisce un'introduzione su argomenti avanzati di dinamica dei fluidi. Il filo conduttore del corso è la complessità e le metodologie per affrontarla. Gli esempi selezionati saranno scelti in un'ottica multiscala (diverse scale spaziali e temporali rilevanti per l'analisi del fenomeno) e multifisica (diversi effetti contribuiscono alla fenomenologia). In particolare, verranno trattati i seguenti argomenti: moti turbolenti per fluidi semplici, soluzioni colloidali di particelle micrometriche (moto Browniano), flussi bifase ed elettroidrodinamica. Nel corso vengono forniti gli strumenti concettuali e analitici per descrivere fluidi e flussi complessi e discussa la loro rilevanza in ambito ingegneristico. **La formulazione di modelli matematici di sistemi reali complessi è fondamentale per la modellistica dei fluidi in molte applicazioni ingegneristiche (as esempio, dispersione di inquinanti, micro e nanotecnologie). In tal senso, durante il corso verranno analizzati diversi modelli fisico-matematici dei fluidi mettendone in evidenza non solo i pregi e i limiti da un punto di vista dell'accuratezza della descrizione fisica ma anche, e soprattutto, la possibilità di implementarli al calcolatore per sistemi di interesse ingegneristico.**

CONOSCENZA E COMPrensIONE:

Al termine dell'insegnamento, lo/la studente sarà in grado di comprendere i principali fenomeni relativi alla dinamica dei fluidi complessi, in particolare relativamente alla descrizione del trasporto di particelle in fluidi e all'elettroidrodinamica. Inoltre, lo/la studente conoscerà le principali fenomenologie associate a flussi turbolenti e la loro descrizione teorica.

Italiano

CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE:

Lo/la studente sarà in grado di riconoscere gli ambiti di applicabilità delle varie modellistiche proposte per la descrizione dei fluidi complessi e della turbolenza. **Sarà inoltre in grado di applicare la conoscenza e la comprensione sviluppate nel corso per lo sviluppo di alcuni semplici metodi numerici.**

AUTONOMIA DI GIUDIZIO:

La preparazione trasversale prevista del corso, unita ad una buona conoscenza delle problematiche tecnico scientifiche dei diversi aspetti della fluidodinamica dei fluidi complessi implica 1) la capacità dello studente di integrare le conoscenze e gestire la complessità, 2) la capacità di identificare e impostare la soluzione di problemi in aree nuove ed emergenti nello studio dei fluidi di complessi e della turbolenza e 3) la comprensione dei modelli applicabili in un determinato contesto e delle loro limitazioni.

ABILITÀ COMUNICATIVE:

Lo/la studente sarà in grado di comunicare in modo chiaro e privo di ambiguità i contenuti del corso a interlocutori specialisti. Sarà inoltre in grado di comunicare le principali caratteristiche dei modelli utilizzati e dei limiti di applicabilità degli stessi a interlocutori con formazione tecnica (esempio: altri ingegneri, fisici, chimici) ma non specialisti in fluidodinamica.



Digital

LEARNING OUTCOMES: The course provides an introduction to advanced topics in fluid dynamics. The common thread of the course is the complexity and the methodologies to face it. The selected examples will be chosen from a multiscale perspective (different spatial and temporal scales relevant to the analysis of the phenomenon) and multi-physics (different effects contribute to the phenomenology). In particular, the following topics will be covered: turbulent motions for simple fluids, colloidal solutions of micrometric particles (Brownian motion), two-phase and electro-dynamic flows. The course provides conceptual and analytical tools to describe complex fluids and flows and discuss their relevance in the engineering field. **The capability to formulate appropriate mathematical models of complex real systems is fundamental for fluid modeling in many engineering applications (e.g., dispersion of pollutants, micro- and nanotechnologies). During the course, various physical-mathematical models of fluids will be analyzed, highlighting not only their values (and limitations) from concerning the accuracy of the physical description but also the possibility of implementing them in computational tools for engineering problems.**

KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:

At the end of the course, the student will be able to understand the main phenomena related to the dynamics of complex fluids, in particular with regard to the description of the transport of particles in fluids and to electro-dynamics. Furthermore, the student will know the main phenomenologies associated with turbulent flows and their theoretical description.

APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:

The student will be able to recognize the range of validity of the various models proposed for the description of complex fluids and turbulence. **He will also be able to apply the knowledge and understanding developed during the course to implement some simple numerical methods.**

MAKING JUDGEMENTS:

The transversal preparation provided by the course, together with a good knowledge of the technical scientific problems of the different aspects of the fluid dynamics of complex fluids implies: 1) the student's capability to integrate knowledge and manage complexity, 2) the student ability to identify and formulate the solution of problems in new and emerging areas in the study of complex fluids and turbulence and 3) an understanding of the models suited for a given context and their limitations.

COMMUNICATION SKILLS:

The student will be able to communicate the contents of the course to specialists in a clear and unambiguous way. It will also be able to communicate the main features of the models used and their limits to specialists in other related disciplines (example: other engineers, physicists, chemists).

LEARNING SKILLS:

The structure of the course contents, characterized by various topics apparently separated but connected by a multi-scale and multi-physics vision, will contribute to developing a systemic learning capacity that will allow the student to approach in a self-directed or autonomous way to other frontier problems concerning the fluid dynamics. More generally, the student

English



Prerequisiti

Italiano

Lo/la studente dovrebbe preferibilmente aver già frequentato il corso di Fluidodinamica. E' necessario che lo/la studente abbia una buona dimestichezza con gli strumenti dell'analisi differenziale e integrale e con gli aspetti di base della meccanica e della termodinamica.

English

The student should preferably have already attended the Fluid Dynamics course. It is necessary that the student is familiar with the differential and the integral analysis, with the basic aspects of mechanics and thermodynamics.

Programma

Digital

Equazioni fondamentali

Equazione di conservazione della massa e della quantità di moto. Simmetria tensore degli sforzi. Relazione costitutiva fluidi newtoniani. Equazione di Navier Stokes per flussi incomprimibili. Condizioni al bordo. Condizione di Navier e lunghezza di scorrimento. Forma adimensionale equazioni di Navier-Stokes. Numero di Reynolds. Equazione di Stokes, linearità e simmetrie. Cenni al teorema di Purcell sul nuoto dei microorganismi. Flusso di Poiseuille.

Moto Browniano

Diffusione di particelle in un fluido. Equazione di conservazione. Equazione di Langevin per il moto di un singolo colloide. Teorema di fluttuazione dissipazione. **Metodi numerici per equazioni differenziali stocastiche.**

Elettroidrodinamica

Sistema completo di equazioni per trasporto specie cariche. Equazione di Poisson-Boltzmann. Lunghezza di Debye. Flusso elettroosmotico ideale in un canale piano. Flussi elettroosmotici in nanopori. Applicazioni per biosensori e blue energy.

Tensione superficiale e dinamica delle interfacce

Definizione di tensione superficiale. Equazione di Laplace. Equazione di Young e angolo di contatto. Stati di Cassie e di Wenzel. Legge di Jurin. Lunghezza di capillarità. Instabilità Taylor-Rayley. **Cenni ai modelli continui per flussi bifase (Continuum force model). Cenni su tecniche di simulazione atomistica.**

Turbolenza

Descrizione in spazio di Fourier. Produzione, trasferimento e dissipazione di energia cinetica turbolenta. Teoria di Kolmogorov per turbolenza omogenea e isotropa. Scala di Kolmogorov. Equazioni mediate alla Reynold e problema della chiusura.

Italiano



English

Digital

Fundamental equations

Conservation of mass and momentum. Stress tensor symmetry. Newtonian fluids constitutive relation. Navier Stokes equation for incompressible flows. Boundary conditions. Navier condition and slip length. Dimensionless form of the Navier-Stokes equations. Reynolds number. Stokes equation, linearity and symmetries. Notes on Purcell's theorem concerning the swimming of microorganisms. Poiseuille flow.

Brownian Motion

Diffusion of particles in a fluid. Conservation equation. Langevin equation for the motion of a single colloid. Fluctuation-dissipation theorem. **Numerical methods for stochastic differential equations.**

Electrohydrodynamics

Complete system of equations for transporting charged species. Poisson-Boltzmann equation. Debye length. Ideal electroosmotic flow in a plane channel. Electroosmotic flows in nanopores. Applications for biosensors and blue energy.

Surface and dynamic tension of the interfaces

Definition of surface tension. Laplace equation. Young's equation and contact angle. Cassie and Wenzel states. Jurin's law. Capillary length. Taylor-Rayley instability. **Overview on continuous models for two-phase flows (Continuum force model). Atomistic simulation techniques.**

Turbulence

Description in Fourier space. Production, transfer and dissipation of turbulent kinetic energy. Kolmogorov theory for homogeneous and isotropic turbulence. Kolmogorov scale. Reynold-averages equations.

Modalità di valutazione

- Prova scritta
- Prova orale
- Valutazione in itinere
- Valutazione di progetto
- Valutazione di tirocinio
- Prova pratica
- Prova di laboratorio

Descrizione delle modalità e dei criteri di verifica dell'apprendimento

Italiano

Non idoneo: importanti carenze e/o inaccurately nella conoscenza e comprensione degli argomenti; limitate capacità di analisi e sintesi, frequenti generalizzazioni e limitate capacità critiche e di giudizio, gli argomenti sono esposti in modo non coerente e con linguaggio inappropriato,
18-20: conoscenza e comprensione degli argomenti appena sufficiente con possibili generalizzazioni e imperfezioni; capacità di analisi sintesi e autonomia di giudizio sufficienti, gli argomenti sono esposti in modo frequentemente poco coerente e con un linguaggio poco appropriato/tecnico,
21-23: Conoscenza e comprensione degli argomenti routinaria; Capacità di analisi e sintesi corrette con argomentazione logica sufficientemente coerente e linguaggio appropriato/tecnico
24-26: Discreta conoscenza e comprensione degli argomenti; buone capacità di analisi e sintesi con argomentazioni espresse in modo rigoroso ma con un linguaggio non sempre appropriato/tecnico.
27-29: Conoscenza e comprensione degli argomenti completa; notevoli capacità di analisi e sintesi. Buona autonomia di giudizio. Argomenti esposti in modo rigoroso e con linguaggio appropriato/tecnico
30-30L: Ottimo livello di conoscenza e comprensione approfondita degli argomenti. Ottime capacità di analisi, di sintesi e di autonomia di giudizio. Argomentazioni espresse in modo originale e con linguaggio tecnico appropriato.



English

The assessment is based on the outcome of a written exam with four exercises similar to those done during the lectures. Subsequent to passing the written (at least 18/30), there is an oral examination on the two parts of the course: components and systems. The exercises are optional and allow the completion of the Student's preparation as well as allowing an independent approach to solving numerical reliability problems. Preparation is assessed in relation to The student's evaluation includes an oral exam on the topics covered in the course (25/30) and the discussion of an topic chosen by the student from a list prepared by the teacher (5/30).

The oral exam will aim to verify the student's ability to integrate the various topics covered in different parts of the program and, where possible, to make quantitative estimates on specific cases. The student must demonstrate that she/he has understood the links between the various aspects covered in class and that she/he is able to motivate the choice of the models used (and to critically comment on their limits) according to the features of the problem under consideration.

The second part of the exam is based on a topic of independent study selected by the student. During the course, the teacher will provide a list of possible topics. The student will select a single topic that will be discussed during the exam. The discussion will allow us to evaluate the ability to learn independently and the communication skills developed by the student.

The final vote of the exam is expressed out of thirty and will be obtained

Testi adottati

Italiano

Fluid Mechanics . Pijush K. Kundu and Ira M. Cohen Fourth Edition (2008)
Theoretical Microfluidics , Henrik Bruus, Oxford University Press (2008)
De Gennes, Pierre-Gilles, Françoise Brochard-Wyart, and David Quéré.
Capillarity and wetting phenomena: drops, bubbles, pearls, waves. Springer, 2004.

English

Fluid Mechanics . Pijush K. Kundu and Ira M. Cohen Fourth Edition (2008)
Theoretical Microfluidics , Henrik Bruus, Oxford University Press (2008)
De Gennes, Pierre-Gilles, Françoise Brochard-Wyart, and David Quéré.
Capillarity and wetting phenomena: drops, bubbles, pearls, waves. Springer, 2004.



Bibliografia di riferimento

Italiano/
English

Frisch, Uriel. Turbulence: the legacy of AN Kolmogorov. Cambridge university press, 1995.
Pope, Stephen B. Turbulent flows. Cambridge university press, 2000.
San Miguel, M., & Toral, R. (2000). Stochastic effects in physical systems. In Instabilities and nonequilibrium structures VI (pp. 35-127). Springer, Dordrecht.

Modalità di svolgimento

- Modalità in presenza
- Modalità a distanza

Descrizione della modalità di svolgimento e metodi didattici adottati

Italiano

Il corso segue un modello didattico tradizionale basato su lezioni frontali ed esercitazioni. Le lezioni introduttive verranno principalmente svolte alla lavagna, derivando le equazioni in modo tradizionale. Il resto del corso utilizzerà anche presentazioni. Il materiale verrà pubblicato on-line tipicamente prima delle lezioni. Nella parte finale del corso, verranno tenuti seminari specialistici su temi specifici (esempio: reologia dei fluidi complessi, trasporto di particelle in flussi turbolenti). Nell'ambito dello studio dei moti Browniani, due lezioni verranno svolte in aula di informatica dove gli studenti svilupperanno un codice per il moto Browniano di una particella.



English

The course follows a traditional teaching model based on lectures and exercises. The introductory lessons will mainly be carried out on the blackboard, deriving the equations in a traditional and rigorous way. The rest of the course will also use presentations. The material will be published on-line typically before classes. In the final part of the course, specialized seminars will be held on selected topics (e.g. rheology of complex flow, particle transport in turbulent flows). As part of the study of Brownian motions, two lessons will be held in the computer lab where the students will develop a code for the Brownian motion of a particle.

Modalità di frequenza

- Frequenza facoltativa
- Frequenza obbligatoria

Descrizione della modalità di frequenza

Italiano

La frequenza non è obbligatoria ma fortemente suggerita. In ogni caso, il materiale è a disposizione di studenti non frequentanti

English

Attendance is not mandatory but strongly suggested. In any case, the material is available to non-.