

Docente responsabile dell'insegnamento/attività formativa

Nome | Roberto

Cognome | Verzicco

Denominazione insegnamento/attività formativa

Italiano | Aerodinamica per applicazioni spaziali

English | Aerodynamics for aerospace

Aree culturali

Aerospace 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 | Mauro

Cognome | Chinappi

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

Italiano |

English |

Obiettivi formativi e risultati di apprendimento attesi

Aerospace Digital

OBIETTIVI FORMATIVI:

L'obiettivo del corso è presentare le fenomenologie legate all'aerodinamica di veicoli spaziali in tutti i regimi tipici di una missione includendo in particolare, flussi subsonici, flussi supersonici e flussi in gas rarefatti. Verranno presentati i modelli fisico-matematici più opportuni per ogni regime e ne verranno discusse le eventuali implementazioni numeriche. Verranno inoltre presentati i vari sistemi di propulsione aerospaziale.

CONOSCENZA E COMPRESIONE:

Al termine dell'insegnamento, lo/la studente sarà in grado di comprendere i principali fenomeni relativi all'aerodinamica dei veicoli spaziali. Lo/la studente imparerà le principali differenze tra flussi subsonici e supersonici e conoscerà le principali tecnologie di propulsione spaziale. Inoltre, conoscerà alcuni strumenti di calcolo per flussi in gas rarefatti.

CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRESIONE:

Lo/la studente sarà in grado di riconoscere gli ambiti di applicabilità delle varie modellistiche proposte per la descrizione dell'aerodinamica dei veicoli spaziali e la loro utilità in casi pratici. Sarà inoltre in grado di applicare la conoscenza e la comprensione sviluppate nel corso per l'analisi quantitativa di alcuni problemi pratici come, ad esempio, il calcolo della spinta in propulsori aerospaziali.

AUTONOMIA DI GIUDIZIO:

Dato un problema di aerodinamica, lo/la studente sarà in grado di motivare la scelta dei modelli utilizzati in funzione delle caratteristiche del flusso (numero di Mach, numero di Knudsen), della composizione del fluido e delle condizioni termodinamiche. Sarà anche in grado di valutare l'appropriatezza e le limitazioni degli approcci presentati nel corso. Inoltre, lo/la studente avrà gli strumenti per analizzare criticamente approcci analitici e numerici per la soluzione di problemi aerodinamici in ambito aerospaziale non direttamente discussi nel corso.

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 rappresentare dati in maniera professionale utilizzando lo stato dell'arte degli strumenti digitali.

CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO:

Le conoscenze tecniche e la modalità di esame (in particolare la redazione di un documento tecnico basato su simulazioni svolte dallo/a studente) contribuiranno a sviluppare quelle capacità di apprendimento che consentono di approfondire ed allargare le proprie conoscenze in modo auto-diretto o autonomo. Inoltre, lo/la studente sarà in grado di saper leggere e comprendere libri di testo relativi ad argomenti di aerodinamica dei veicoli spaziali, propulsione e relative pubblicazioni scientifiche.

Italiano



Aerospace Digital

LEARNING OUTCOMES: The aim of the course is to present the phenomenologies related to the aerodynamics of space vehicles in all typical regimes of a mission, including in particular, subsonic flows, supersonic flows and flows in rarefied gases. The most appropriate mathematical models for each regime will be presented and possible numerical implementations will be discussed. Various aerospace propulsion systems will also be presented.

KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:

At the end of the course, the student will be able to understand the main phenomena related to the aerodynamics of space vehicles. The student will discern the main differences between subsonic and supersonic flows and she/he will learn the main technologies for space propulsion. Moreover, he/she will know some tools for the simulation of rarefied flows.

APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:

The student will be able to recognize the range of validity of the various models proposed for the description of aerodynamics of space vehicles and to discuss their employment in practical cases. She/he will also be able to apply the fundamental knowledge acquired during the course for the quantitative analysis of some practical problems as, for instance, the estimation of the trust for aerospace nozzles.

MAKING JUDGEMENTS:

Given an aerodynamic problem, the student will be able to motivate the choice of the models used according to the features of the flow (e.g. Mach number, Knudsen number), the composition of the fluid and the thermodynamic conditions. She/he will also be able to assess the appropriateness and the limitations of the approaches presented in the course. Furthermore, the student will be able to manage the theoretical tools to critically evaluate analytical and numerical approaches for solving aerodynamics and propulsion problems not explicitly discussed in the course.

COMMUNICATION SKILLS:

The student will be able to communicate the contents of the course to specialists in a clear and unambiguous way. She/he will be also able to represent data using the state of the art of the graphical and data analysis tools.

LEARNING SKILLS:

The technical knowledge and the examination method (in particular the preparation of a technical report based on simulations done by the student) will contribute to the developing of the learning skills that will allow the student to independently deepen and broaden her/his knowledge. The student will be able to read and understand textbooks on advanced gasdynamic topics and scientific publications.

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. Inoltre, è fortemente suggerito seguire in parallelo (o aver seguito negli anni precedenti) il corso di Gasdinamica.

English

The student should preferably have already attended the Fluid Dynamics course. It is necessary that the student is familiar with the differential and integral analysis, with the basic aspects of mechanics and thermodynamics. Furthermore, it is strongly recommended to follow the Gasdynamics course in parallel (or to have followed it in the previous years).



Programma

Aerospace Digital

Richiami di fenomenologie fondamentali e loro descrizione fisico-matematica. Equazioni di Navier-Stokes, Equazione di Bernoulli, strato limite, urti normali e obliqui. Cenni alla meccanica del volo. Flusso 1D in un ugello convergente-divergente.

Aerodinamica in regime subsonico e supersonico.

Forze viscosi e forze di pressione. Portanza, resistenza, resistenza indotta e resistenza d'onda. Profilo alare isolato, teoria del filetto portante (di Prandtl). Profili subsonici, profili supersonici, ala infinita e finita, ala a delta. Interazione ala/fusoliera, interferenza aerodinamica.

Propulsione aerospaziale.

Calcolo della spinta, ugello adattato, endoreattori a stato liquido e solido. Altre tipologie di propulsori. Impulsi specifici e consumi specifici. *Calcolo di proprietà e prestazioni di endoreattori*

Gas rarefatti e ipersonica.

Dissociazione di gas ad alte temperature. Teoria cinetica dei Gas. Distribuzione di Maxwell-Boltzmann. Numero di Knudsen e scorrimento a parete. Il problema dell'ingresso in atmosfera.

Italiano

Simulazione numerica di flussi in gas rarefatti

Il metodo Direct Simulation Monte Carlo. Il solutore SPARTA. Visualizzazione ed analisi di campi fluidodinamici. Simulazione di flussi assialsimmetrici intorno a veicoli spaziali.



Aerospace Digital

Fundamental phenomenologies and their physico-mathematical description
Navier-Stokes equation, Bernoulli equation, boundary layer, normal and oblique shocks. Flight mechanics. Flow in a nozzle (quasi-1D approximation)

Aerodynamics in subsonic and supersonic regime.

Viscous and pressure forces. Lift, drag, induced drag and wave drag. Airfoil, Prandtl lifting-line theory. Subsonic airfoil, supersonic airfoil, finite wing, delta wing. wing-fuselage interaction, aerodynamic interface.

Space propulsion.

Propeller trust, adapted nozzle, liquid vs solid rocket fuel. Other propellers. Specific impulse. Performance of *propellers*.

Rarefied gas and ipersonic flows.

Gas at high temperatures. Kinetic theory of gases. Maxwell-Boltzmann distribution. Knudsed number and slip flows. Entry into atmosphere for a space vehicle.

Numerical simulation for rarefied gas

The Direct Simulation Monte Carlo methods. SPARTA, an open source solver. Representation of fluid dynamic fields. Simulation of axial-symmetric flows around space vehicles.

English



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 student's evaluation includes an oral exam (20/30) and the discussion of a report based on a computational work relative on rarefied gas dynamics (10/30).

The oral exam focuses on two issues.

First of all, knowledge of the fundamental concepts exposed in class and their physical/mathematical formulation will be assessed. The student must demonstrate that she/he knows the main topics covered in the course and that she/he knows how to correctly formulate the main mathematical models for the study of aerodynamics for aerospace applications.

Secondly, the student's ability to integrate the various topics covered in various parts of the program and, when possible, to make quantitative estimates on specific cases will be verified. The student will have to demonstrate that he/she has understood the connections between the various aspects covered in class and that he/she will be able to motivate the choice of the models used (and critically comment on their limitations) based on the specific problem under examination.

The computational work performed by the student will be discussed and evaluated during the oral exam.

The final vote of the exam is expressed out of thirty and will be obtained through the following graduation system:

Not pass: important deficiencies and / or inaccuracies in the knowledge and understanding of the topics: limited capacity for analysis and synthesis.

Testi adottati

Italiano

Hypersonic and high-temperature gas dynamics, Anderson (2019)
Fundamentals of Aerodynamics, Anderson (2017)
Gasdinamica. Filippo Sabetta (2009)

English

Hypersonic and high-temperature gas dynamics, Anderson (2019)
Fundamentals of Aerodynamics, Anderson (2017)
Gasdinamica. Filippo Sabetta (2009)

Bibliografia di riferimento

Italiano/
English

Modalità di svolgimento

- Modalità in presenza
- Modalità a distanza

Descrizione della modalità di svolgimento e metodi didattici adottati

Italiano

Il corso combina un modello didattico tradizionale basato su lezioni frontali ed esercitazioni con una attività in laboratorio di informatica. Le lezioni introduttive verranno principalmente svolte alla lavagna, derivando le equazioni in modo tradizionale o utilizzando presentazioni e video. Il materiale verrà pubblicato on-line tipicamente prima delle lezioni. Nella parte iniziale del corso verranno anche svolte esercitazioni in laboratorio di informatica il cui scopo è fornire agli/alle studenti gli strumenti tecnici (terminale Linux, strumenti di rappresentazione dati) la cui conoscenza è indispensabile per le esercitazioni finali in laboratorio di informatica che riguarderanno simulazioni di flussi di gas rarefatti.



English

The course combines a traditional teaching model based on lectures and exercises with a computer laboratory activity. Introductory lessons will mainly be delivered on the blackboard, deriving equations in the traditional way or using presentations and videos. Material will typically be posted online prior to class. In the initial part of the course, several classes will be held in computer laboratory for providing students with the technical tools (Linux terminal, data representation). This basic knowledge is essential for the second part of the course that will deal with simulations of rarefied gas dynamics flow.

Modalità di frequenza

- Frequenza facoltativa
- Frequenza obbligatoria

Descrizione della modalità di frequenza

Italiano

La frequenza non è obbligatoria ma fortemente suggerita soprattutto per quel che riguarda le esercitazioni in laboratorio di informatica. In ogni caso, il materiale è a disposizione di studenti non frequentanti.

English

Attendance is not mandatory but strongly suggested in particular for the activities in the