

Docente responsabile dell'insegnamento/attività formativa

Nome | Vincenzo

Cognome | Mulone

Denominazione insegnamento/attività formativa

Italiano |

English | Fluid Machines Digital Modeling

Aree culturali

Digital Sustainability

Informazioni insegnamento/attività formativa

A.A. | 2024-2025

L

LM

LM CU

CdS | Ingegneria meccanica e Ingegneria Energetica

Codice |

Canale |

CFU | 6

Lingua | English

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

Nome | Matteo

Cognome | Baldelli

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

Italiano |

English |



Obiettivi formativi e risultati di apprendimento attesi

Aerospace Digital Mobility Sustainability

Il corso si svolge secondo due direttive parallele:

Nella prima direttiva si forniscono contenuti avanzati per la progettazione delle macchine a fluido, in riferimento alla generazione da fonti rinnovabili (turbine eoliche, mini-hydro, turbine a fluido organico) o all'inserimento in sistemi complessi (sistemi per stoccaggio e compressione di idrogeno, sistemi di ventilazione, torri di raffreddamento, pompe di calore, HVAC per veicoli elettrici). Si approfondiscono a tale scopo gli aspetti fluidodinamici e di progettazione funzionali.

Nella seconda direttiva si svolge il progetto di una macchina in gruppi. Saranno approfonditi gli aspetti di design di una tipologia di macchina, utilizzando sia strumenti fluidodinamico-computazionali, sia basati su tecniche innovative (machine-learning), identificando le sinergie tra gli strumenti tradizionali physics-based e più innovativi (data-driven, machine-learn).

CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: Studentesse e studenti saranno in grado di comprendere i fenomeni fluidodinamici in tutte le condizioni di funzionamento. Inoltre saranno in grado di applicare le conoscenze sviluppate a molti casi di interesse pratico per la generazione da fonti rinnovabili o funzionali all'inserimento in sistemi complessi (turbine eoliche, mini-hydro, turbine a fluido organico, compressione di idrogeno, ventilazione ad alta efficienza e basso rumore). Le conoscenze sviluppate aiuteranno sia nella progettazione di turbomacchine che dei sistemi collegati ad esse.

Italiano

CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: Si applicherà la conoscenza sviluppata per l'analisi di problemi pratici di progettazione e controllo delle turbomacchine, partendo da una raggiunta consapevolezza dei fenomeni fluidodinamici alla base del loro funzionamento. Si potranno quindi con facilità e consapevolezza applicare tecniche più innovative per il design (data-driven, machine-learn) mirati alla progettazione di macchine, funzionali all'inserimento in sistemi complessi.

AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Nel progetto di gruppo si potranno dimostrare le proprie capacità critiche, avendo cura dello sviluppo di ipotesi e modelli adatti al problema proposto. I risultati saranno presentati per iscritto in un documento, sullo stile di un articolo scientifico (circa 10 pagine, doppia colonna), che viene valutato da molti punti di vista, tra cui l'efficacia della scrittura, la qualità dei riferimenti, la qualità della descrizione delle ipotesi di modellazione, l'efficacia dei commenti sui risultati ottenuti.

Nella prova orale individuale si dovrà dimostrare la propria consapevolezza critica rispetto ai numerosi aspetti di natura fisica ed economica sottesi alla progettazione di macchine a fluido.

ABILITÀ COMUNICATIVE: Nel progetto di gruppo si dimostrerà la capacità di scrivere un documento con efficacia. Inoltre, nella prova orale, si dimostrerà la propria capacità di descrivere il funzionamento e i principali aspetti di design delle macchine a fluido.

CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Si potrà acquisire familiarità con la schematizzazione dei problemi pratici. Ciò riguarda principalmente le turbomacchine per la generazione da fonti rinnovabili (ad esempio turbine eoliche, mini-hydro, turbine a fluido organico) e i sistemi ad esse collegati (ad esempio sistemi di compressione/stoccaggio di idrogeno, pompe di calore, HVAC per veicoli elettrici, sistemi di distribuzione dell'aria, etc).



Aerospace Digital Mobility Sustainability

The course takes place according to two parallel directives:

The first directive provides advanced knowledge for the design of fluid machines, referring to both **generation from renewable sources (wind turbines, mini-hydro, organic fluid turbines) or insertion into complex systems (hydrogen storage and compression systems, ventilation systems, cooling towers, heat pumps, etc)**. To this end, the fluid dynamic and design aspects functional to this purpose are explored in depth.

In the second directive, the design of a machine is carried out in student groups. The design aspects of a type of machine will be explored in depth, **using both fluid dynamic computational tools and others based on innovative techniques (machine-learning), identifying the synergies between traditional physics-based tools and the more innovative ones (data-driven, machine-learned)**.

KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:

The students will be able to understand the fluid dynamic phenomena in all the operating conditions. The students will also be able to apply the knowledge developed to many cases of practical interest for **generation from renewable sources or functional for the coupling in complex systems (wind turbines, mini-hydro, organic fluid turbines, hydrogen compression, high-efficiency and low noise ventilation)**. The knowledge developed will help the students both in the design of turbomachinery and the systems around them.

APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:

The students will apply the knowledge developed for the analysis of practical problems about design and control of turbomachinery, starting from the awareness of the fluid dynamic phenomena underlying their operation. **It will therefore be possible to easily and consciously apply more innovative techniques for design (data-driven machine-learned) aimed at the design of machines, functional for insertion into complex systems.**

MAKING JUDGMENTS:

In the group project, students will be able to demonstrate their critical skills, taking care of developing assumptions and models suitable for the problem proposed to them. The results will be presented in a form of written document, according to the style of a scientific paper (approximately 10 pages, double column), which is evaluated from many points of view, including the effectiveness of the writing, the quality of the references, the quality of description of the modeling hypotheses, the effectiveness of the comments on the results obtained.

In the individual oral test, students will have to demonstrate their critical awareness of the numerous physical and economic aspects underlying the design of fluid machines.

COMMUNICATION SKILLS: Students will demonstrate in the group project the ability to write a document effectively. Furthermore, in the oral test, students will demonstrate their ability to describe the operation and main design aspects of fluid machines.

LEARNING SKILLS: Students will become familiar with the schematization of practical problems. **This mainly concerns turbomachinery for generation from renewable sources (e.g. wind turbines, mini-hydro, organic fluid turbines) and the systems connected to them (e.g. hydrogen compression/storage systems, heat pumps, energy distribution systems 'air, etc).connected to them (e.g. hydrogen compression/storage systems, heat pumps, energy distribution systems 'air, etc).**

English



Prerequisiti

Italiano

Si deve aver già frequentato, preferibilmente, i corsi di base di analisi matematica, geometria, fisica, fisica tecnica, macchine e fluidodinamica. E' necessario che lo studente abbia una buona dimestichezza con gli strumenti dell'analisi differenziale e integrale, con il calcolo matriciale e l'algebra lineare, con gli aspetti di base della termodinamica e dello scambio di calore.

English

The student should have already attended the basic courses of calculus, geometry, physics, heat transfer, energy conversion and fluid mechanics. It is required that the student has good skills with regard to differential and integral calculus, the matrix calculations and linear algebra, the basics of thermodynamics and heat transfer.

Programma

Italiano

Aerospace Digital Mobility Sustainability

- Richiami equazioni della fluidodinamica delle turbomacchine, con speciale riguardo agli aspetti transitori, alla generazione di entropia, al moto relativo e alle forze di inerzia.
- Dinamica della vorticità. Flussi rotazionali e irrotazionali. Azioni su profili alari. Teorema di Kelvin. Esempi di calcolo a potenziale del flusso intorno a profili.
- Strato limite: parametri locali e globali, transizione laminare turbolento, applicazioni a studio di profili aerodinamici.
- Generalità sul funzionamento delle turbomacchine: parametri adimensionali principali, classificazione e scelta delle turbomacchine attraverso i parametri adimensionali, Influenza della viscosità, degli effetti di scala, della cavitazione, degli effetti termici. **Applicazione dei concetti di design alle macchine per la generazione da fonti rinnovabili (turbine eoliche, turbine a fluido organico, ventilatori, compressori di idrogeno).**
- **Esempi di curve caratteristiche di turbine eoliche, high-efficiency and low noise fans, turbine a fluido organico, dipendenza dai principali parametri di design. Generalità sull'accoppiamento con sistemi mediante definizione di curve caratteristiche del sistema ricevente.**
- **Definizione di modelli fluidodinamici semplificati, a partire dalle equazioni generali della CFD su dominio completo nello spazio e nel tempo. Definizione disco attuatore per la valutazione semplificata ma multi-dimensionale di turbomacchine, in modo da rappresentare fenomeni azimutali e transitori. Principali risultati conseguibili con i modelli semplificati. Reduced-order-modeling techniques: accuratezza e campi di applicazione. Tecniche di modellazione multi-dimensionale di sistemi (scambiatori in pompe di calore o HVAC, cabine di veicoli elettrici, sistemi di stoccaggio energetico o di fluidi vettori).**
- **Fondamenti di aeroacustica per la valutazione dell'SPL-Sound Pressure Level per turbomacchine (particolarmente turbine eoliche e fan) in funzione della frequenza.**
- **Introduzione a due dei principali linguaggi di programmazione (python e piattaforma matlab) in merito all'implementazione di tecniche di ottimizzazione.**
- **Applicazioni data-driven e tecniche machine-learning: rappresentazioni basate su correlazioni teoriche e dati sperimentali, anche considerando sottomodelli aeroacustici per la valutazione dell'SPL**
- **Implementazione di modelli data-driven per la previsione del funzionamento di macchine e sistemi in diverse condizioni di funzionamento e confronto con modelli convenzionali CFD in modo da porre in evidenza i diversi trade-off dal punto di vista dell'accuratezza e dei tempi di calcolo richiesti.**
- **Addestramento di modelli data-driven mediante dati derivanti da simulazioni CFD in modo da implementare modelli surrogate semplificati.**



English

Aerospace Digital Mobility Sustainability

- Review of fluid dynamics equations with focus on turbomachinery flow, and special attention to transient aspects, entropy generation, relative motion and inertial forces.
- Dynamics of vorticity. Rotational and irrotational flows. Actions on airfoils. Kelvin's theorem. Examples of potential modeling of the flow around a aerodynamic profile.
- Boundary layer: local and global parameters, turbulent transition, applications to the study of aerodynamic profiles.
- General information on the functioning of turbomachines: main dimensionless parameters, classification and choice of turbomachines through dimensionless parameters, influence of viscosity, scale effects, cavitation, thermal effects. **Application of design concepts to renewable generation machines (wind turbines, organic fluid turbines, fans, hydrogen compressors).**
- **Examples of characteristic curves of wind turbines, high-efficiency and low noise fans, organic fluid turbines, dependence on the main design parameters. General information on coupling with systems by defining characteristic curves of the receiving system.**
- **Definition of simplified fluid dynamic models, starting from the general CFD equations on a complete domain in space and time. Actuator disk definition for the simplified and multi-dimensional evaluation of turbomachinery, to represent azimuthal and transient phenomena. Main results achievable with simplified models. Reduced-order-modeling techniques: accuracy and fields of application. Multi-dimensional modeling techniques of systems (exchangers in heat pumps or HVAC, cabins of electric vehicles, energy storage or carrier fluid systems).**
- **Fundamentals of aeroacoustics for the evaluation of the SPL-Sound Pressure Level for turbomachinery (particularly wind turbines and fans) as a function of frequency.**
- **Introduction to two programming languages (python and matlab platform) with special regard to the implementation of optimization techniques.**
- **Data-driven applications and machine-learning techniques: representations based on theoretical correlations and experimental data, also considering aeroacoustic submodels for the SPL evaluation**
- **Implementation of data-driven models for the prediction of machine and system performance parameters according to different operating conditions and comparison with conventional CFD models with the final aim of highlighting the different trade-offs from the points of view of accuracy and calculation times required.**
- **Training of data-driven models using data from CFD simulations to implement simplified surrogate models.**

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

La valutazione prevede una prova progettuale e una orale.
Nella prova progettuale studentesse e studenti lavorano in gruppi di tre a un progetto il cui tema viene proposto dai docenti. Si dovrà sviluppare il tema, scegliendo ipotesi e modelli adatti all'applicazione proposta, rivendicando aspetti innovativi, e presentando infine un elaborato scritto ai docenti (in forma di articolo scientifico) comprendente l'analisi di contesto, la descrizione dei modelli, l'analisi dei risultati, le conclusioni e una lista dei riferimenti bibliografici. La prova progettuale scritta viene valutata con un voto compreso tra 0 e 15. Si accede alla prova orale avendo superato quella progettuale con un voto di almeno 8.
Nella prova orale, individuale, si dovrà dimostrare di avere raggiunto un sufficiente grado di conoscenza del funzionamento delle macchine a fluido. Sarà verificato il grado di apprendimento dello studente rispetto ad aspetti avanzati della progettazione e del funzionamento delle macchine, mediante domande inizialmente poste a proposito dei principi di base di funzionamento, discutendo delle principali ipotesi di lavoro e semplificative e sull'effetto della variabilità dei parametri operativi sulle prestazioni delle macchine.
Il voto finale è determinato per 1/2 dal voto conseguito in quindicesimi nella prova di progetto e per 1/2 dal voto in quindicesimi conseguito nella prova orale.



English

The student's evaluation includes a design test and an oral test. In the project test, students work in groups of three on a project whose theme is proposed by the instructors. Students will have to develop the theme, choosing hypotheses and models suitable for the proposed application, claiming innovative aspects, and finally presenting a written paper (in the form of a scientific article) including the context analysis, the description of the models, the analysis of the results, conclusions and a list of bibliographical references. The written project test is evaluated with a grade between 0 and 15. The oral test can be undergone having passed the design test with a grade of at least 8. In the individual oral test, students must demonstrate that they have achieved a sufficient level of knowledge of the functioning of fluid machines. The student's level of learning will be verified with respect to advanced aspects of machine design and operation, through questions initially asked regarding the basic operating principles, then discussing the main working and simplifying hypotheses and the effect of variability of the main operating parameters. on the performance of the machines. The final grade is determined by 1/2 by the grade obtained out of fifteen in the project test and by 1/2 by the grade out of fifteen achieved in the oral test.

Testi adottati

Italiano

Appunti del corso
S. Korpela, Principles of Turbomachinery, Wiley

English

Powerpoint slides
S. Korpela, Principles of Turbomachinery, Wiley

Bibliografia di riferimento

Italiano/
English

Tweedt, Daniel Lawrence, The aerodynamics of a baseline supersonic throughflow fan rotor (1993). Retrospective Teses and Dissertations. 12194. <http://lib.dr.iastate.edu/rtd/12194>.

Arthur Kantrowitz. The supersonic axial compressor. NACA Report 974.

Ayse G Gungor, Yvan Maciel, Mark P Simens and Julio Soria. Analysis of a Turbulent Boundary Layer Subjected to a Strong Adverse Pressure Gradient (2014).Journal of Physics: Conference Series 506,012007.

Takahiro Tsukahara, Yohji Seki, Hiroshi Kawamura,Daisuke Tochio.DNS OF TURBULENT CHANNEL FLOW AT VERY LOW REYNOLDS NUMBERS. Technical report Tohoku University.

Bo Song, Wing F. Ng. Performance and Flow Characteristics of an Optimized Supercritical Compressor Stator Cascade. ASME J Turbomachinery (2006).

Lasse Mueller, Zuheyr Alsalihi, Tom Verstraet.Multidisciplinary Optimization of a Turbocharger Radial Turbine. ASME J Turbomachinery (2013).

Simon J. Gallimore,John J. Bolger, Nicholas A. Cumpsty, Mark J. Taylor, Peter I. Wright,James M. M. Place. The Use of Sweep and Dihedral in Multistage Axial Flow Compressor Blading—Part II: Low and High-Speed Designs and Test Verification. ASME J Turbomachinery (2002).

H. Ji-ang, G. Jian, Z. Jingjun, Y. Chenguang. Effect of Vane Opening on Aerodynamic Performance of the Ram-rotor Test System. Journal of Thermal Science Vol.25, No.3 (2016) 207215.

Sara Ling and Ted Sönne. VGV optimization for performance. MSc. thesis, University of Lund (2014).

Modalità di svolgimento

- Modalità in presenza
 Modalità a distanza

Descrizione della modalità di svolgimento e metodi didattici adottati

Italiano

Il metodo di insegnamento del corso segue un modello didattico tradizionale basato su lezioni frontali ed esercitazioni.

Il corso viene mediante slide powerpoint, video (sostitutivi dell'attività di laboratorio) e alla lavagna, in modo da consentire allo studente una familiarizzazione sia con gli esperimenti di base che con i sistemi reali per applicazioni.

Sono inoltre tenute esercitazioni in classe con l'obiettivo di applicare a casi di interesse pratico le conoscenze sviluppate durante le lezioni teoriche. Si farà particolare riferimento alle implicazioni progettuali delle conoscenze sviluppate, con continui riferimenti a dimensioni, taglie, e velocità caratteristiche delle macchine.

Il materiale viene pubblicato on-line prima delle lezioni.



English

The teaching method of this course foresees a traditional model based on lectures and exercises.
Classes are carried out using powerpoint slides, videos (replacing the lab activities) and on the blackboard. This allows the student to get more familiar with the fundamental experiments and with real complex systems.
Exercises are also held in class to apply the knowledge developed during the theoretical lessons to cases of practical interest. Particular focus will be given to the design implications of the knowledge developed, with continuous reference to characteristic dimensions, power size, and speed of machines.
The material is published online before classes.

Modalità di frequenza

- Frequenza facoltativa
- Frequenza obbligatoria

Descrizione della modalità di frequenza

Italiano

La frequenza non è obbligatoria: il materiale è a disposizione anche di studenti non frequentanti per la preparazione all'orale.

English

Attendance is not mandatory. The material is available for non-attending students to get prepared for the oral tests.