

Docente responsabile dell'insegnamento/attività formativa

Nome | Corrado

Cognome | Groth

Denominazione insegnamento/attività formativa

Italiano |

English | Fluid Structure Interaction and Fundamentals of Aeroelasticity

Aree culturali

Aerospace Digital

Informazioni insegnamento/attività formativa

A.A. | 2024-2025

L

LM

LM CU

CdS | Ingegneria meccanica

Codice |

Canale |

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

Aerospace Digital Mobility Sustainability

Il corso si propone di introdurre lo studente alle problematiche, ai metodi e alle tecniche di calcolo tipiche dei fenomeni di Interazione Fluido Struttura con particolare focus a casi aerospace e motorsport. Alla fine del corso gli studenti saranno in grado di implementare autonomamente un workflow di calcolo multifisico e analizzare nel dettaglio, tramite codici numerici ad hoc, FEM o CFD, le performance e il comportamento della struttura e del fluido che interagiscono tra di loro.

Il corso è articolato in due fasi successive:

La prima fase, propedeutica alla seconda, riguarda l'introduzione di nozioni di teoria, come quelle afferenti alla teoria della trave, dell'elasticità e delle vibrazioni, altre invece tipiche del settore aeronautico, riguardano la fisica base dei fluidi, in riferimento a profili alari e di interazione fluido struttura. Verranno introdotti elementi di aeroelasticità. Entrambi i casi sono trattati: sia l'interazione statica che quella dinamica, nella quale si prende in considerazione l'evoluzione nel tempo. L'impartizione di tali contenuti teorici sarà supportata da applicazioni semplici, eseguite con l'utilizzo di un programma di calcolo generico (Matlab).

Nella seconda fase si svolge un progetto in gruppi. Tale progetto è relativo alla soluzione di un problema di interazione fluido-struttura in ambito aerospace. Gli studenti sono chiamati ad applicare le basi teoriche apprese durante la prima parte del corso su Matlab, collegando codici numerici strutturali e fluidodinamici anche esterni.

CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: Studentesse e studenti riceveranno una conoscenza di base sui fenomeni aeroelastici a vari livelli di complessità e sui vari approcci che possono essere utilizzati per la modellazione multifisica, come il metodo modale o a due vie. La parte di applicazione al codice di calcolo è fondamentale affinché la teoria assuma una forma compiuta agli occhi degli studenti, favorendone la comprensione grazie al lavoro di adattamento della trattazione generale al caso specifico ed avvantaggiandone la parte di memorizzazione basata sullo stimolo dell'intuito fisico.

CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: La conoscenza sviluppata viene applicata a casi pratici che, seppure in forma semplificata, permettono allo studente di comprendere in maniera completa i workflow di accoppiamento tra problemi strutturali e fluidodinamici. Nella parte di progetto, lo studente applicherà di suo pugno quanto appreso durante la parte teorica preliminare.

AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Nel progetto di gruppo gli studenti sono chiamati a dimostrare le proprie capacità critiche, nonché la consapevolezza, necessarie per lo sviluppo di ipotesi e modelli adatti al problema proposto. I risultati saranno presentati sia in maniera scritta che orale, in entrambi i casi gli studenti dovranno conferire al lavoro svolto veste scientifica.

ABILITÀ COMUNICATIVE: Nel progetto di gruppo si dimostrerà la capacità di scrivere un documento con efficacia. Inoltre, la prova orale si articolerà in due fasi: una nella quale il gruppo presenterà in maniera collettiva il lavoro svolto tramite slide e una individuale.

CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Le conoscenze acquisite durante il corso permetteranno agli studenti di essere autonomi sia nell'implementazione di nuovi algoritmi numerici, sia nello sviluppo e apprendimento di differenti approcci alla simulazione multifisica.

Italiano



Aerospace Digital Mobility Sustainability

The course aims to introduce students to the issues, methods, and typical calculation techniques of Fluid-Structure Interaction phenomena **with a particular focus on aerospace and motorsport cases**. By the end of the course, students will be able to autonomously implement a multiphysics calculation workflow and analyze in detail, using in house codes, FEM or CFD, the performance and behavior of the interacting structure and fluid. The course is divided into two successive phases:

The first phase, preparatory to the second, concerns the introduction of theoretical notions, such as those related to beam theory, elasticity, and vibrations, as well as **others typical of the aeronautical sector, regarding basic fluid physics, referring to aerofoils and fluid-structure interaction. Elements of aeroelasticity will be introduced. Both static and dynamic interactions are treated, considering time evolution. The imparting of these theoretical contents will be supported by simple applications, carried out using a generic calculation program (Matlab).**

In the second phase, a group project is carried out. **This project relates to solving a fluid-structure interaction problem in the aerospace field. Students are required to apply the theoretical foundations learned during the first part of the course in Matlab, connecting structural and fluid dynamic numerical codes, including external ones.**

KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: Students will receive a basic knowledge of **aeroelastic phenomena at various levels of complexity and the various approaches that can be used for multiphysics modeling, such as the modal or two-way method. The application part to the calculation code is fundamental so that the theory takes on a complete form in the students' eyes, favoring understanding through the adaptation of general treatment to the specific case and benefiting the memorization part based on the stimulation of physical intuition.**

APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: The developed knowledge is applied to practical cases which, albeit in a simplified form, allow students to fully understand the **coupling workflows between structural and fluid dynamics problems. In the project part, the student will apply what they have learned during the preliminary theoretical part on their own.**

MAKING JUDGMENTS: In the group project, students are called upon to demonstrate their critical abilities, as well as the awareness necessary for the development of hypotheses and models suitable for the proposed problem. The results will be presented both in written and oral form, in both cases the students must confer scientific status to the work done.

COMMUNICATION SKILLS: In the group project, the ability to effectively write a document will be demonstrated. Furthermore, the oral test will be articulated in two phases: one in which the group will collectively present the work done through slides and an individual one.

LEARNING SKILLS: The knowledge acquired during the course will allow students to be autonomous both in the **implementation of new numerical algorithms** and in the **development and learning of different approaches to multiphysics simulation.**

English



Prerequisiti

Italiano

Si deve aver già frequentato, preferibilmente, i corsi di base di analisi matematica, geometria e fisica. È fortemente consigliata una conoscenza base del metodo degli elementi finiti.
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, nonché dell'applicazione approssimata numerica di questi.

English

Students should have already attended, preferably, basic courses in mathematical analysis, geometry, and physics. A basic understanding of the finite element method is strongly recommended.
It is necessary for the student to have a good familiarity with the tools of differential and integral analysis, with matrix calculus and linear algebra, as well as with the numerical approximate application of these

Programma

Aerospace Digital Mobility Sustainability

Italiano

- Richiami alla modellazione analitica di travi e fondamenti di vibrazioni. Problemi agli autovalori, sistemi ad 1 o più gradi di libertà e equazione del moto.
- Risoluzione di problemi strutturali in coordinate modali. Problemi statici e dinamici.
- **Richiami ad elementi di programmazione in Matlab**
- **Sviluppo di modelli Matlab strutturali semianalitici, statici e dinamici utilizzando le conoscenze apprese in precedenza.**
- **Elementi di fluidodinamica del profilo alare, convenzioni aeronautiche. Drag, lift e coefficienti, pressioni e diagrammi polari.**
- Richiami al FEM e alla CFD. **Codice a pannelli in Matlab**
- **Introduzione all'aeroelasticità. Aeroelasticità statica, divergenza, inversione dei comandi. Fenomeni di aeroelasticità dinamica. Flutter e Buffeting**
- Problematiche connesse allo scambio di forze e spostamenti tra il fluido e la struttura in ambito numerico. Metodi di interpolazione e mapping di forze (mortar method, area weighted average, RBF). **Implementazione in Matlab.**
- Tipologie di accoppiamento tra i modelli strutturali e fluidodinamici, pro e contro dei vari approcci. Algoritmi monolitici e partizionati. Accoppiamenti forti o deboli.
- Panoramica sui framework di studio per i sistemi accoppiati con particolare focus sugli algoritmi Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE).
- Paradigmi per la deformazione della griglia di calcolo (Polinomi di Bernstein, RBF) per la sincronizzazione degli spostamenti tra codici di calcolo FEM e CFD
- **Approccio a due vie e metodo modale per l'accoppiamento Fluido Struttura statico.**
- **Interazione Fluido Struttura non stazionaria mediante metodo modale.**
- Approcci all'evoluzione nel tempo. **Implementazione in Matlab di una routine FSI dinamica usando sia il metodo esplicito che tramite l'integrale di Duhamel.** Confronto e analisi dei due metodi.
- Gestione del workflow Fluido Struttura da Matlab. Orchestrazione, sincronizzazione e scambio dati tra codici di calcolo strutturali e fluidodinamici. **Implementazione di un codice di calcolo Matlab per l'analisi Fluido Struttura.**
- **Applicazione del codice fluido struttura sviluppato ad un caso di interesse in ambito aerospace assegnato a gruppi e concordato con il docente.**



English

Aerospace Digital Mobility Sustainability

- Reminder of analytical modeling of beams and fundamentals of vibrations. Eigenvalue problems, single or multi-degree of freedom systems, and equations of motion.
- Resolution of structural problems in modal coordinates. Static and dynamic problems.
- Introduction and programming basics in Matlab.
- Development of semi-analytical Matlab structural models, both static and dynamic, using the previously acquired knowledge.
- Elements of airfoil fluid dynamics, aeronautical conventions. Drag, lift, and coefficients, pressures, and polar diagrams.
- References to FEM and CFD. Panel code in Matlab.
- Introduction to aeroelasticity. Static aeroelasticity, divergence, control reversal. Dynamic aeroelasticity phenomena. Flutter and Buffeting.
- Issues related to the exchange of forces and displacements between the fluid and the structure in numerical problems. Interpolation methods and force mapping (mortar method, area weighted average, RBF). Implementation in Matlab.
- Types of coupling between structural and fluid dynamics models, pros and cons of various approaches. Monolithic and partitioned algorithms. Strong or weak couplings.
- Overview of possible frameworks for coupled systems with a particular focus on Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) algorithms.
- Grid deformation paradigms (Bernstein Polynomials, RBF) for the synchronization of displacements between FEM and CFD calculation codes.
- Two-way approach and modal method for static Fluid-Structure coupling.
- Non-stationary Fluid-Structure Interaction through modal method.
- Approaches to time evolution. Implementation in Matlab of a dynamic FSI routine using both explicit method and Duhamel's integral. Comparison and analysis of the two methods.
- Management of a Fluid-Structure workflow from Matlab. Orchestration, synchronization, and data exchange between structural and fluid dynamic calculation codes. Implementation of a Matlab calculation code for Fluid-Structure analysis.
- Application of the developed fluid-structure code to a case of interest in the aerospace field assigned to groups and agreed upon with the instructor.



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 ad un progetto deciso dal docente, che fornirà una parte di materiale necessario per lo sviluppo del progetto. Gli studenti dovranno implementare in forma di codice (Matlab), le nozioni teoriche apprese in forma approssimata numerica a dei casi applicativi. Il progetto dovrà essere consegnato in forma di report tecnico, cui seguirà una presentazione dello stesso per mezzo di esposizione formale tramite l'ausilio di slides.
Nel colloquio orale, individuale, lo studente approfondirà le tematiche affrontate nello sviluppo del progetto, dimostrando di avere appreso la teoria di base trattata nel corso.
Il voto finale è determinato dalla somma di due votazioni parziali. Una in ventesimi relativa al progetto e una in decimi relativa al colloquio orale.



English

The assessment consists of a project test and an oral examination. In the project test, students work in groups on a project decided by the Professor, who will provide some necessary materials for the project development. Students will have to implement, in the form of code (Matlab), the theoretical notions learned in approximate numerical form to practical cases. The project must be delivered in the form of a technical report, followed by a presentation of the same through a formal exposition using slides. In the oral examination, individual, the student will delve into the topics addressed in the development of the project, demonstrating to have acquired the basic theory covered in the course. The final grade is determined by the sum of two partial grades. One out of twenty related to the project and one out of ten related to the oral examination.

Testi adottati

Italiano

- Appunti presi durante lo svolgimento del corso
- Jan R. Wright, Jonathan E. Cooper, Introduction to aircraft aeroelasticity and loads, second edition, Wiley, 2015.

English

- Notes taken during the course
- Jan R. Wright, Jonathan E. Cooper, Introduction to aircraft aeroelasticity and loads, second edition, Wiley, 2015.

Bibliografia di riferimento

Italiano/
English

- Megson, Thomas Henry Gordon. Aircraft structures for engineering students. Butterworth-Heinemann, 2016.
- Hodges, Dewey H., and G. Alvin Pierce. Introduction to structural dynamics and aeroelasticity. Vol. 15. cambridge university press, 2011.
- Fung, Yuan Cheng. An introduction to the theory of aeroelasticity. Courier Dover Publications, 2008.
- Bazilevs, Yuri, Kenji Takizawa, and Tayfun E. Tezduyar. Computational fluid-structure interaction: methods and applications. John Wiley & Sons, 2013.

Modalità di svolgimento

- Modalità in presenza
- Modalità a distanza

Descrizione della modalità di svolgimento e metodi didattici adottati

Italiano

Il corso adotta un approccio didattico tradizionale basato su lezioni frontali e attività pratiche. Le lezioni sono presentate tramite slide PowerPoint e alla lavagna, permettendo agli studenti di comprendere sia concetti di base che applicazioni reali. Saranno mostrate anche dimostrazioni pratiche utilizzando il computer.

Durante le lezioni, gli studenti avranno l'opportunità di svolgere esercitazioni in classe, mirate a mettere in pratica le nozioni apprese. Per quanto riguarda il progetto di gruppo, verranno organizzati incontri specifici per seguire da vicino lo sviluppo del lavoro e fornire supporto personalizzato.



English

The course follows a traditional teaching approach based on lectures and practical exercises.
The course is delivered using PowerPoint slides and on the blackboard, allowing students to become acquainted with both basic experiments and real-world systems for applications. Real-time applications and demonstrations will also be shown using computer aids.
In-class exercises are also conducted with the aim of applying the knowledge developed during theoretical lectures to practical cases of interest.
Specific tutoring will be arranged for the development of the group project, to track the progress of the work and provide tailored assistance.

Modalità di frequenza

- Frequenza facoltativa
- Frequenza obbligatoria

Descrizione della modalità di frequenza

Italiano

La frequenza è fortemente consigliata dato il carattere di interattività del corso. Esercitazioni, dimostrazioni e i progetti di gruppo vengono sviluppati e guidati a lezione.

English

Attendance is strongly recommended due to the interactive nature of the course. Exercises, demonstrations, and group projects are developed and guided during class.