

# SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Modeling of Complex Flows

(Modeling of Complex Flows)

Corso di Laurea Magistrale di Mechanical Engineering

Affine

Magistrale

A.A.2021/2022

Docenti: Marco Donato de Tullio

☎ +39 080 596 3794

email: marco.donato.detullio@poliba.it

SSD

CFU

Anno di corso (I, II o III)

Semestre (I o II)

Insegnamenti propedeutici previsti: non sono previste propedeuticità.

## RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

**NB I risultati di apprendimento attesi sono quanto lo Studente dovrà conoscere, saper utilizzare ed essere in grado di dimostrare al termine del percorso formativo relativo all'insegnamento in oggetto. Essi devono essere pertanto descritti "per punti" elencando le principali conoscenze e capacità che lo Studente avrà acquisito al termine del corso. Nella descrizione delle conoscenze e delle capacità occorre prestare attenzione ai seguenti aspetti:**

- verificare che i risultati di apprendimento attesi siano coerenti con gli obiettivi formativi specifici del Corso di Studio riportati in allegato a**
- verificare che vi sia adeguata corrispondenza tra le conoscenze e le capacità e gli argomenti descritti nella sezione relativa al Programma;**
- verificare che i risultati di apprendimento inseriti nella scheda siano corrispondenti con quanto riportato nella Scheda Unica del CdS, Quadro A4.b.2. In tale sezione viene delineato un primo quadro dei risultati di apprendimento attesi, suddivisi per gruppi di insegnamenti (attività formative di base, attività formative caratterizzanti, attività formative affini e integrative). Si veda allegato b**
- verificare, soprattutto nel caso di insegnamenti legati da vincoli di propedeuticità, che i risultati di apprendimento attesi in relazione all'insegnamento "che precede" costituiscano i necessari requisiti preliminari per i risultati di apprendimento relativi all'insegnamento "che segue"**

### Conoscenza e capacità di comprensione(max 4 righe, Times New Roman 10)

Il corso si prefigge di fornire la conoscenza dei principi base per la simulazione fluidodinamica in configurazioni di interesse industriale. Le lezioni sono finalizzate all'apprendimento delle proprietà dei principali metodi numerici per la risoluzione delle equazioni, in particolare per flussi incomprimibili. Nella seconda parte vengono approfondite le tecniche di interazione fluido-struttura con metodologie adeguate a trattare agevolmente geometrie complesse e in movimento.

#### Knowledge and ability to understand

The course aims at providing a general knowledge on the numerical simulation of industrial flows. The lectures are focused on the properties of the most used numerical methods for solving the governing equations, with particular emphasis on incompressible flows. In the second part of the course, the focus is on fluid-structure interaction techniques, adopting suitable methods for easy handling complex and moving geometries.

### Capacità di applicare conoscenza e comprensione (max 4 righe, Times New Roman 10)

Al termine del corso gli allievi saranno in grado di comprendere in modo sufficientemente dettagliato tutte le fasi di una simulazione fluidodinamica, dalla definizione della geometria all'analisi del flusso. Il livello di dettaglio consente di applicare le conoscenze acquisite all'implementazione di codici di calcolo per la simulazione di flussi di interesse industriale.

#### Ability to apply knowledge and understanding

At the end of the course the students will be able to understand in details all the steps of a fluid dynamics simulation, starting from the definition of the geometry to the analysis of the flowfield. The level of detail allows one to apply the acquired knowledge to implement numerical codes for the simulation of complex industrial flows.

### Eventuali ulteriori risultati di apprendimento attesi, relativamente a:

#### Autonomia di giudizio:

Uno degli obiettivi del corso è consentire allo studente di sviluppare un modello per descrivere la dinamica di un fluido in una configurazione complessa, selezionando metodi numerici appropriati e il livello di approssimazione adeguato.

#### Abilità comunicative:

Mediante la prova orale dell'insegnamento, lo studente può misurare la sua capacità di presentare e discutere le caratteristiche del modello numerico utilizzato per la soluzione delle equazioni della fluidodinamica, facendo anche ricorso ad esempi pratici che

# SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Modeling of Complex Flows

(Modeling of Complex Flows)

Corso di Laurea Magistrale di Mechanical Engineering

Affine

Magistrale

A.A.2021/2022

ne aiutino la comprensione

## Capacità di apprendimento:

Durante il corso viene posta enfasi sulla necessità che lo studente sviluppi le sue competenze, sia in grado di ricavare un modello numerico per descrivere un problema fisico e ne conosca il livello di approssimazione. Il lavoro personale viene stimolato anche mediante l'assegnazione di un progetto finale che deve essere discusso durante l'esame orale con il docente. Inoltre, i numerosi esempi applicativi e le sfide scientifiche e tecnologiche nell'ambito della simulazione fluidodinamica saranno da stimolo per sviluppare una capacità di apprendimento continuo necessaria a mantenere aggiornata la preparazione professionale in ogni ambito.

## Autonomy of judgment:

One of the objectives of the course is to enable the student to develop a model to describe the dynamics of a fluid in a complex configuration, selecting suitable numerical methods and approximation level.

## Communication skills:

Through the oral exam, the student can measure his ability to present and discuss the features of the numerical method used to solve the fluid dynamics equations, making also use of practical examples to help the understanding of the topic.

## Learning skills:

During the course, the student is asked to develop the knowledge, be able to derive a mathematical model describing a physical problem, knowing its approximation level. Personal work is also stimulated through the assignment of a final project that has to be discussed during the oral examination. Furthermore, many application examples and the scientific and technological challenges in the field of computational fluid dynamics will be a stimulus for developing a continuous learning ability necessary to keep professional preparation updated in each area.

## PROGRAMMA (in italiano, min 10, max 15 righe, Times New Roman 10, raggruppando i contenuti al massimo in 10 argomenti)

**Metodi didattici:** Lezioni in aula supportate dall'impiego di computer e videoproiettore; tutoraggio in forma di assistenza individuale.

**1) Introduzione (1 CFU):** Concetti base di fluidodinamica, principi di conservazione, equazioni di governo. Soluzione numerica delle equazioni. Proprietà di un metodo numerico. Cascata di energia e turbolenza. Modellazione, validazione e verifica.

**2) Fluidodinamica computazionale (1.5 CFU):** Generazione della griglia di calcolo, griglie strutturate e non strutturate, griglie cartesiane adattative. Definizione della geometria, cenni di geometria differenziale delle superfici. Dal CAD all'analisi. Fondamenti di metodi di discretizzazione. Soluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes. Metodo ai volumi finiti. Metodo alle differenze finite per flussi incomprimibili. Condizioni al contorno. Calcolo ad alte prestazioni.

**3) Interazione fluido-struttura (1.5 CFU):** Metodo dei contorni immersi, strategie di forzamento, approcci con interfaccia definita e diffusa, ricostruzione ai minimi quadrati mobili per corpi in movimento. Equazioni dell'elasticità per corpi deformabili. Approccio partizionato e monolitico. Trasferimento dei carichi.

**4) Modelli fisici avanzati (1 CFU):** Modellazione della turbolenza: equazioni Reynolds-Averaged Navier-Stokes, Large-Eddy Simulation, modelli di parete. Scambio termico coniugato. Modelli multifisici.

**5) Applicazioni (1 CFU):** Flussi di interesse industriale. Propulsione biomimetica. Interazione del flusso con cellule e tessuti in applicazioni biomediche.

## CONTENTS (in English, min 10, max 15 lines, Times New Roman 10, )

**Didactic methods:** Lectures supported by the use of a computer and a projector; personalized feedback and coaching to improve student's work.

**1) Introduction (1 ECTS):** Basic concepts of fluid dynamics, conservation principles, governing equations. Numerical solution of equations. Features of a numerical method. Energy cascade and turbulence. Modeling, validation and verification.

**2) Computational Fluid Dynamics (1.5 ECTS):** Grid generation, structured vs. unstructured grids, Cartesian adaptive grids. Geometry definition, hints of surface differential geometry. From CAD to analysis. Fundamentals of discretization methods. Numerical solution of the Navier-Stokes equations. Finite-volume method. Finite-difference method for incompressible flows. Boundary conditions. High performance computing.

**3) Fluid-structure interaction (1.5 ECTS):** Immersed boundary method, forcing strategies, sharp interface and smooth interface approaches, moving-least-squares reconstruction for moving boundaries. Elasticity equations for deformable bodies. Partitioned and monolithic approaches. Load transfer.

**4) Advanced physical models (1 ECTS):** Modeling turbulence: Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations, large-eddy simulation, wall models. Conjugate heat transfer. Multi-physics models.

**5) Applications (1 ECTS):** Industrial flows. Biomimetic propulsion. Flow interactions with cells and tissues in biomedical

# SCHEMA DELL' INSEGNAMENTO DI Modeling of Complex Flows

(Modeling of Complex Flows)

Corso di Laurea Magistrale di Mechanical Engineering

Affine

Magistrale

A.A.2021/2022

applications.

## PREREQUISITI

Nozioni fondamentali di Fluidodinamica. Nozioni fondamentali dell'Analisi Matematica (derivate, integrali, equazioni differenziali) e dell'algebra (con elementi di algebra tensoriale).

Fundamentals of Fluid Dynamics. Fundamentals of Analysis (derivatives, integrals, and partial differential equations) and Algebra (with elements of tensor algebra).

## MATERIALE DIDATTICO (max 4 righe, Times New Roman 10)

- 1) Appunti a cura del docente;
- 2) J.C. Tannehill, D.A. Anderson, R.H. Pletcher, Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, Taylor & Francis;
- 3) J.H. Ferziger, M. Peric, Computational methods for fluid dynamics, Springer;
- 4) H. Versteeg, W. Malalasekera: An Introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method, Prentice Hall.

## MODALITA' DI ESAME

L'esame si articola in prova	Scritta e orale		Solo scritta		Solo orale	X
Discussione di elaborato progettuale						X
Altro, specificare						
In caso di prova scritta i quesiti sono (*)	A risposta multipla		A risposta libera		Esercizi numerici	

(\*) E' possibile rispondere a più opzioni

## MODALITA' DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO E REQUISITI MINIMI DI APPRENDIMENTO

L'esame inizia con una discussione del progetto finale dello studente riguardo l'implementazione di un codice di calcolo su specifiche tematiche assegnate dal docente. La prova inoltre intende verificare le conoscenze dello studente e la comprensione degli argomenti trattati. I requisiti minimi di apprendimento comprendono la capacità di modellare un problema fisico e impostare una simulazione fluidodinamica: discretizzare il dominio di interesse, selezionare il metodo numerico appropriato con le corrette condizioni al contorno, discutere criticamente i risultati alla luce delle approssimazioni fatte.

The exam begins with the discussion of the student's final project about the implementation of a numerical code on specific topics assigned by the teacher. The oral discussion will also serve to verify the student's knowledge and understanding of the topics covered. The minimum learning requirements include the ability to model a physical problem and set up a numerical flow simulation: to discretize the domain of interest, to select the appropriate numerical model and boundary conditions, to critically analyze the results based on the level of approximation adopted.

## ALLEGATI

- a) obiettivi formativi specifici del Corso di Studio (Quadr A4.a della Scheda Unica del Corso di Studio)
- b) risultati di apprendimento attesi per il raggruppamento di insegnamenti di cui fa parte l'insegnamento in oggetto (Scheda Unica del CdS, Quadro A4.b.2)