

564SM - FLUID DYNAMICS

Teaching objectives

The course aims to provide students with the fundamentals of the mechanics of fluids and the theoretical and applicative foundations of computational fluid dynamics. In subsequent courses the student will have all the tools to be able to cope with turbulence, geophysical oceanography and meteorology.

Teaching methods

The course encompasses frontal lessons and software sessions for setting and running basic test cases.

Examination

Oral presentation of the arguments developed during the course and the solution of exercises. Written report concerning a numerical solution of the transport-diffusion equation and two test cases reproduced with OpenFOAM: lid driven cavity and Poiseuille flow.

Course Program (preliminar)

Part I: fundamentals 1) Introduction to fluid dynamics a. fluid properties b. the laws of thermodynamics c. Molecular transport phenomena d. Stability of a column of fluid e. Potential Temperature and potential density 2) Kinematics a. Eulerian and Lagrangian approach b. flow lines, acceleration of a fluid element c. Relative motion between two points: The deformation rate and rotation tensors d. Reynolds Transport Theorem 3) Conservation laws a. conservation of mass b. Conservation of momentum c. constitutive laws d. Navier-Stokes equations e. non-inertial reference systems: The Coriolis force f. Bernoulli's Principle g. The Boussinesq approximation for flows with density variation h. Boundary conditions 4) Dynamics of vorticity a. Kelvin theorem b. of Helmholtz theorem c. Vorticity equation in inertial reference system d. Interaction between irrotational vortexes 5) Dimensional analysis a. nondimensional forms of conservation laws b. Theorem P Buckingham c. The laboratory tests 6) Laminar flows a. analytical solutions of parallel flows b. self-similar solutions 7) The boundary layer theory a. definitions b. analytical solution for flat plate c. boundary layer separation d. Notes to flow around bluff bodies 8) Turbulence a. Introduction to statistical turbulence b. Reynolds averaged equations c. Turbulence closure Part II: computational fluid dynamics 1) finite difference method, finite volume method 2) how to solve a differential equation with finite difference method (writing a code, languages used by the student: matlab, fortran, c ++, python ...) 3) implicit and explicit methods, applied for example for the solution of the diffusion equation 4) concepts of stability, consistency and convergence of a numerical scheme 5) classification of PDEs, boundary conditions, and examples of possible numerical schemes that can be used to solve these equations (including iterative methods for stationary equations) 6) use of OpenFOAM software: how to build a grid and how to set up the simplest cases (2D Poiseuille flow and lid driven cavity) 7) look inside OpenFOAM, the various solvers and numerical schemes that can be used and other details of how the software works (finite volume method) 8) build complex calculation grids, with OpenFOAM. For example, flow around an immersed body. 9) set up the turbulent channel case with OpenFOAM (hints on turbulence and Smagorinsky subgrid model).

Personal skills

D1 - Knowledge and understanding: the student, at the end of the course, will have to know the theoretical foundations in the field of fluid dynamics, and the fundamental numerical techniques for solving partial differential equations. D2 - Applying knowledge and understanding: the student must be able to set up a fluid dynamic numerical simulation and critically evaluate the results obtained. D3 - Making judgments: the student must be able to independently choose the optimal setting to carry out a correct and accurate

numerical simulation. D4 - Communication skills: the student must be able to describe the fundamental principles of the methods and the work done with appropriate technical and professional language. D5 – Learning skills: the student will gain competences that will enable his/her autonomous scientific and professional progress to maintain an adequate know-how, through continuing education, in a rapidly evolving technological sector characterized by a high economic and social impact.

----- 0 -----

Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire agli studenti i fondamenti della meccanica dei fluidi e le conoscenze della fenomenologia di base e i fondamenti teorici e applicativi della fluidodinamica computazionale. In corsi successivi al presente corso lo studente avrà tutti gli strumenti per potere affrontare in maniera consapevole corsi avanzati sulla turbolenza nei fluidi, l'oceanografia e la meteorologia.

Metodi didattici

Il corso comprende lezioni frontali e utilizzo del software per l'impostazione e l'esecuzione di test case di base.

Modalità di verifica dell'apprendimento

Esposizione orale di argomenti sviluppati durante il corso, e soluzione di esercizi. Report scritto riguardante una soluzione numerica dell'equazione di trasporto-diffusione e due casi test riprodotti con OpenFOAM: lid driven cavity e Poiseuille flow.

Contenuti del corso (Programma di massima)

I parte: fondamenti 1) Introduzione alla fluidodinamica a. Proprietà dei fluidi b. Cenni alle leggi della termodinamica c. Fenomeni di trasporto molecolare 2) Cinematica a. Approccio Euleriano e Lagrangiano b. Linee di flusso, accelerazione di un elemento fluido c. Moto relativo tra due punti: I tensori di velocità di deformazione e di rotazione d. Teorema del trasporto di Reynolds 3) Leggi di conservazione a. Conservazione della massa b. Conservazione della quantità di moto c. Leggi costitutive d. Equazioni di Navier-Stokes e. Sistemi di riferimento non inerziale: La forza di Coriolis f. Equazione di Bernoulli 4) Dinamica della vorticità a. Teorema di Kelvin b. Teorema di Helmholtz c. Equazione della vorticità in sistema di riferimento inerziale d. Interazione tra vortici irrotazionali 5) Analisi dimensionale a. Forme nondimensionali delle leggi di conservazione b. Teorema P di Buckingham c. Le prove in laboratorio 6) Flussi laminari a. Soluzioni analitiche di flussi paralleli b. Flussi self-similar 7) La teoria dello strato limite a. Definizioni b. Soluzione analitica per la lastra piana c. Separazione dello strato limite d. Cenni al flusso intorno a corpi tozzi.

II parte: Fluidodinamica computazionale 1) metodo delle differenze finite, metodo dei volumi finiti 2) come risolvere un'equazione differenziale con metodo delle differenze finite (scrittura di un codice, linguaggi utilizzati a scelta dello studente: matlab, fortran, c++, python..) 3) metodi impliciti ed espliciti, applicati ad esempio per la risoluzione dell'equazione di diffusione 4) concetti di stabilità, consistenza e convergenza di uno schema numerico 5) classificazione delle PDE, condizioni al contorno, ed esempi di possibili schemi numerici utilizzabili per la risoluzione di tali equazioni (compresi metodi iterativi per equazioni stazionarie) 6) utilizzo del software OpenFOAM: come costruire una griglia e come impostare i casi più semplici (flusso 2D di Poiseuille e lid-driven cavity) 7) sguardo dentro OpenFOAM, i vari solutori e schemi numerici che si possono utilizzare e altri dettagli di come lavora il software (metodo dei volumi finiti) 8) costruire griglie di calcolo complesse, con OpenFOAM. Ad esempio flusso intorno ad un corpo immerso. 9) impostare il caso di canale turbolento con OpenFOAM (cenni su turbolenza e modello di sottogriglia di Smagorinsky).

Conoscenze e abilità

D1 - Conoscenza e capacità di comprensione: lo studente, al termine del corso, dovrà conoscere i fondamenti teorici nell'ambito della fluidodinamica, e le tecniche numeriche fondamentali per la risoluzione di equazioni alle derivate parziali. D2 - Capacità di applicare conoscenza e comprensione: lo studente dovrà essere in grado di impostare una simulazione numerica fluido dinamica e valutare in maniera critica i risultati ottenuti. D3 - Autonomia di giudizio: lo studente dovrà essere in grado di scegliere autonomamente il setting ottimale per svolgere una corretta ed accurata simulazione numerica. D4 - Abilità comunicative: lo studente dovrà essere in grado di descrivere i principi fondamentali dei metodi ed il lavoro svolto con linguaggio tecnico e professionale appropriato. D5 - Lo studente acquisirà competenze che lo metteranno in grado di perfezionare in modo autonomo la sua formazione scientifica e professionale ai fini di mantenere un adeguato livello di competenze con modalità di formazione permanente (continuing education) in un ambito disciplinare in rapida evoluzione scientifica e di notevole impatto economico-sociale.