

SCHEDA CORSO

AERODINAMICA (AERODYNAMICS – SSD: ING-IND/06)

LINGUA - LANGUAGE

English

OBIETTIVI FORMATIVI - OBJECTIVES

ITA

Il corso è strutturato in modo da descrivere fenomeni e metodologie di valutazione tipici delle applicazioni non aeronautiche dell'aerodinamica, con particolare riferimento all'aerodinamica dei flussi esterni. Saranno inoltre forniti gli strumenti fisico-matematici di base necessari per impostare e risolvere i relativi problemi (ad es. di progettazione). A tal fine saranno presentate le equazioni fondamentali per flussi di fluidi incomprimibili attorno a corpi profilati e non. Saranno infine illustrati esempi concreti di risoluzione analitica e numerica di problemi riscontrabili nel campo dell'aerodinamica industriale (aerodinamica del veicolo, aerodinamica del velivolo).

ENG

The course is designed to describe the fundamental phenomena and the most common methodologies used in non-aeronautical aerodynamic applications, with particular reference to the aerodynamics of external flows. The basic physico-mathematical tools that can be used to set up and solve problems related to these flows (e.g. simple design problems) will also be provided. To this end, the fundamental equations for incompressible fluid flows around streamlined and non-streamlined bodies will be presented. Finally, practical examples of analytical and numerical resolution of simple problems encountered in the field of industrial aerodynamics (vehicle aerodynamics, aircraft aerodynamics) will be illustrated.

PREREQUISITI

ITA

Conoscenza di un ambiente di calcolo sviluppato per gestire oggetti di tipo matrice (ad es. Matlab o Octave), conoscenza di base delle tecniche di integrazione numerica alle differenze finite.

ENG

Knowledge of a computing environment developed to manage matrix-type objects (e.g. Matlab or Octave), basic knowledge of numerical integration based on finite difference techniques.

PROPEDEUTICITA'

Stesse di Turbulent Flow Modelling

COMPETENZE ACQUISITE - ACQUIRED SKILLS

ITA

- Comprensione e capacità di interpretare i principali fenomeni aerodinamici coinvolti nell'interazione fra un fluido e un corpo solido in moto relativo tra loro
- Conoscenza delle metodologie di sviluppo e progettazione aerodinamica applicate a problemi di aerodinamica industriale (e.g. aerodinamica del veicolo o del velivolo)

ENG

- Understanding and capability to interpret the main aerodynamic phenomena arising from the interaction between a fluid and a solid body in relative motion
- Knowledge of the most common development and design methodologies applied to industrial aerodynamics problems (e.g. vehicle aerodynamics or aircraft aerodynamics)

CONTENUTI DEL CORSO

ITA

- **Introduzione all'aerodinamica industriale**

- **Fluidodinamica: richiami e fondamenti**
 - Equazioni del moto per fluidi incomprimibili e comprimibili
 - Conservazione della massa
 - Conservazione della quantità di moto
 - Conservazione dell'energia
 - Generazione e dinamica della vorticità
 - Equazione di trasporto della vorticità 2D/3D
 - Funzione di corrente
 - Flusso a potenziale e moto irrotazionale
 - Teorema di Kelvin
 - Funzione potenziale e potenziale complesso
- **Aerodinamica incomprimibile**
 - Caratteristiche aerodinamiche di profili ed ali
 - Angolo di attacco
 - Beccheggio (pitch)
 - Imbardata (yaw)
 - Rollio (roll)
 - Forze aerodinamiche agenti su corpi profilati
 - Portanza
 - Centro di pressione
 - Coefficienti aerodinamici
 - Resistenza aerodinamica
 - Resistenza di attrito
 - Resistenza di pressione
 - Resistenza d'onda
 - Portanza generata da profili sottili
 - Teorema di Kutta-Joukowski
 - Condizione di Kutta
 - Teoria dei profili sottili
 - Equazione integrale di Prandtl
 - Portanza generata da profili di apertura finita
 - Vortici del profilo sottile
 - Velocità indotta e resistenza indotta
 - Legge di Biot-Savart
 - Teorema di Helmholtz
 - Teoria della linea portante
 - Equazione della linea portante
 - Effetti di estremità e comprimibilità (cenni)
 - Strutture di flusso intorno a corpi profilati e non
 - Corpi bidimensionali
 - Scia di Von Karman: cenni storici, campo di vorticità e velocità, numero di Strouhal e sua dipendenza dalla larghezza della scia
 - Corpi tridimensionali
 - Generalità, similitudini e differenze rispetto al caso 2-D
 - Vortici a staffa, effetti di estremità, caratteristiche del distacco di vortici da corpi snelli al variare dell'allungamento
 - Aerodinamica computazionale
 - Metodi a singolarità virtuali
 - Metodi a pannelli
- **Strato limite e getti**
 - Equazioni dello strato limite incomprimibile
 - Strato limite laminare
 - Spessori integrali dello strato limite
 - Strato limite di Blasius e di Stokes
 - Strato limite su corpi immersi e separazione dello strato limite
 - Instabilità dello strato limite e transizione turbolenta
 - Getto laminare

- **Turbolenza: generalità e fondamenti**
 - Generalità
 - Fenomenologia della turbolenza
 - Strato limite turbolento
 - Getto turbolento
 - Decomposizione di Reynolds
 - Equazioni di conservazione mediate secondo Reynolds
 - Tensore degli stress di Reynolds
 - Problema della chiusura
 - Ipotesi di Boussinesq
 - Definizione di viscosità turbolenta
 - Flusso turbolento in tubazione
 - Ipotesi di Prandtl
 - Profilo di velocità universale
 - Sottostrato viscoso
 - Modelli di turbolenza
 - Modelli a zero equazioni
 - Modelli ad una equazione
 - Modelli a due equazioni
 - Descrizione statistica di un segnale turbolento
 - Analisi statistica di serie temporali
 - Momenti statistici (media, varianza, skewness, flatness)
 - Correlazione di un segnale

ENG

- **Introduction to industrial aerodynamics**
- **Fluid dynamics: fundamentals**
 - Equations of motion for compressible/incompressible fluids
 - Conservation of mass
 - Conservation of momentum
 - Conservation of energy
 - Vorticity generation and vorticity dynamics
 - Vorticity transport equation in 2D/3D
 - Streamfunction
 - Potential flow and irrotational motions
 - Kelvin theorem
 - Potential function and complex potential
- **Incompressible aerodynamics**
 - Aerodynamic characteristics of foils and wings
 - Angle of attack
 - Pitch
 - Yaw
 - Roll
 - Aerodynamic forces acting on streamlined/bluff bodies
 - Lift
 - Center of pressure
 - Aerodynamic coefficients
 - Drag
 - Viscous/friction drag
 - Pressure drag
 - Wave drag
 - Lift generated by thin airfoils
 - Kutta-Joukowski theorem
 - Kutta condition
 - Thin airfoil theory
 - Prandtl's integral equation
 - Lift generated by finite airfoils

- Thin airfoil vortices
 - Induced velocity and induced drag
 - Biot-Savart law
 - Helmholtz theorem
 - Lifting line theory
 - Lifting line equation
 - Finite size and compressibility effects
 - Flow structure around streamlined/bluff bodies
 - Two-dimensional bodies
 - Von Karman wake: historical notes, vorticity and velocity field, Strouhal number and dependency on wake length
 - Three-dimensional bodies
 - Generalities, similarities and differences with the 2D case
 - Horse-shoes vortices, end effects, vortex shedding from slender bodies
 - Computational aerodynamics
 - Method of singularities
 - Panel methods
- **Boundary layer and jets**
 - Incompressible boundary layer equations
 - Laminar boundary layer
 - Boundary layer thickness
 - Blasius and Stokes boundary layers
 - Boundary layer on immersed bodies and boundary layer separation
 - Instability and transition to turbulence
 - Laminar jets
- **Turbulence: Generalities and fundamental concepts**
 - Generalities
 - Phenomenology of turbulence
 - Turbulent boundary layer
 - Turbulent jet
 - Reynolds Decomposition
 - Reynolds-Averaged conservation equations
 - Reynolds stress tensor
 - Closure problem
 - Boussinesq hypothesis
 - Turbulent viscosity
 - Turbulent flow in a pipe
 - Prandtl hypothesis
 - Universal velocity profile
 - Viscous sub-layer
 - Turbulence models
 - Zero-equations models
 - One-equation models
 - Two-equations models
 - Statistical description of a turbulent signal
 - Statistical analysis of temporal series
 - Statistical moments (mean, rms, skewness, flatness)
 - Correlation of a signal

METODI DIDATTICI

ITA

In aggiunta alle lezioni teoriche in classe sono previste esercitazioni e seminari specialistici (tipicamente erogati a fine corso).

ENG

In addition to standard class lectures, tutorials and seminars on specific topics (usually given at the end of the course) are provided.

VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

ITA

Prova scritta in cui si richiede allo studente di applicare le nozioni fondamentali della aerodinamica dei flussi esterni e di turbolenza a casi di interesse pratico, prova orale in cui lo studente deve dimostrare capacità di argomentare e comunicare in modo chiaro e logico la risoluzione delle esercitazioni proposte.

Le prove sono finalizzate a verificare (1) conoscenza e comprensione delle nozioni fondamentali della modellazione aero/fluidodinamica; (2) la capacità di applicare tale conoscenza e comprensione a semplici problemi aero/fluidodinamici; (3) autonomia di giudizio e capacità critica dello studente; (4) le sue abilità comunicative e la capacità di apprendimento di nozioni fisico-matematiche.

Il voto finale è calcolato sulla base del risultato di entrambe le prove, cui viene dato uguale peso.

ENG

Written test that requires the student to apply the fundamental notions of aerodynamics of external flows and turbulence to cases of practical interest, oral test in which the student must demonstrate ability to discuss and communicate the solution of the proposed exercises and tutorials in a clear and logical way.

The tests are aimed at verifying (1) knowledge and understanding of the fundamental notions of aero/fluid dynamics physics and modeling; (2) the ability to apply this knowledge and understanding to simple aero / fluid dynamics problems; (3) autonomy of thought and critical capabilities of the student; (4) student's communication skills and capability to learn physico-mathematical notions.

The final grade is calculated on the basis of the result of both tests, which are given equal weight.

ALTRE INFORMAZIONI – OTHER INFORMATION

ITA

Strumenti a supporto della didattica: e-learning, note del docente, disponibili al link:
158.110.32.35/CLASS/aerodynamics.html

ENG

Further tools to support class lectures: e-learning, lecture notes provided by the instructor, available at: 158.110.32.35/CLASS/aerodynamics.html

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI/REFERENCES

ITA

Appunti di lezione

J.D. Anderson, Fundamentals of Aerodynamics, Mc Graw Hill Book Co.

E.L. Houghton et al., Aerodynamics for Engineering Students, Butterworth-Heinemann

P. Andreussi, A. Soldati, Fluidodinamica di Processo, Ed. Forum

S.B. Pope, Turbulent Flows, Cambridge University Press, Cambridge

H. Schlichting, Boundary-Layer Theory, Mc Graw Hill Book Co.

ENG

Lecture notes

J.D. Anderson, Fundamentals of Aerodynamics, Mc Graw Hill Book Co.

E.L. Houghton et al., Aerodynamics for Engineering Students, Butterworth-Heinemann

P. Andreussi, A. Soldati, Fluidodinamica di Processo, Ed. Forum

S.B. Pope, Turbulent Flows, Cambridge University Press, Cambridge

H. Schlichting, Boundary-Layer Theory, Mc Graw Hill Book Co.