



# UNIVERSITÀ DI PISA

## TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATA E PROGETTO DI MACCHINE A FLUIDO

PAOLO DI MARCO

Academic year	2021/22
Course	INGEGNERIA MECCANICA
Code	407II
Credits	12

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
PROGETTO DI MACCHINE ING-IND/08 A FLUIDO	ING-IND/08	LEZIONI	60	MARCO ANTONELLI
TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATA ING-IND/10	ING-IND/10	LEZIONI	60	PAOLO DI MARCO

### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

Il corso fornisce allo studente le conoscenze di base e le metodologie pratiche per lo studio termofluidodinamico degli impianti termici di potenza e di processo. Vengono illustrati il trasferimento di massa, energia e quantità di moto nei fluidi termovettori monofase. In particolare, vengono esposti i principali metodi di analisi del moto dei fluidi e i più noti modelli dello scambio termico per convezione, utilizzando i principali concetti della meccanica dei continui. Gli studenti apprenderanno conoscenze approfondite delle macchine a fluido e dei sistemi energetici innovativi e più in dettaglio i principi di progettazione delle principali macchine a fluido, i flussi comprimibili, le proprietà dei profili aerodinamici, le macchine a fluido assiali e radiali, le macchine volumetriche.

#### Modalità di verifica delle conoscenze

La conoscenza verrà verificata dalla dimostrazione della capacità di discutere gli argomenti principali del corso con una terminologia appropriata. Durante l'esame orale lo studente dovrà dimostrare la sua conoscenza degli argomenti del corso e di rispondere alle domande con approfondimento e con capacità di esprimere i concetti con proprietà di linguaggio. Lo studente dovrà dimostrare la capacità di mettere in pratica e di eseguire con spirito critico le attività illustrate sotto la guida del professore durante le lezioni. Nel rispondere alle domande fatte dal docente, lo studente dovrà dimostrare la capacità di affrontare un problema e di organizzare un'esposizione efficace dell'argomento.

Metodo:

- Esame orale finale per il 100% della valutazione

#### Capacità

Al termine del corso l'allievo deve conoscere i principali fenomeni che sono alla base del trasporto di calore e del moto dei fluidi monofase e bifase negli impianti termici e nei processi di conversione energetica per essere in grado di:

- impostare correttamente i bilanci di massa, energia e quantità di moto applicati a corpi fluidi in movimento per eseguire calcoli di cadute di pressione, sforzi dovuti al moto di fluidi, trasmissione convettiva del calore.
- usare correttamente le tecniche di calcolo e le correlazioni fenomenologiche nella verifica e nel progetto di componenti e sistemi adibiti al trasporto di massa ed energia con fluidi monofase.

Lo studente deve inoltre mostrare di aver acquisito la capacità di calcolare le dimensioni principali delle turbomacchine e delle macchine volumetriche, effettuare bilanci energetici e di lavoro, saper dimensionare una semplice macchina a fluido per date specifiche di progetto.

#### Modalità di verifica delle capacità

Le capacità acquisite saranno verificate e valutate in sede di esame attraverso domande orali e l'eventuale risoluzione di un semplice problema.

#### Comportamenti

Lo studente dovrà partecipare attivamente alle lezioni. Lo studente dovrà responsabilmente concludere le esercitazioni assegnate durante il corso. Egli dovrà essere capace di analizzare i problemi in autonomia e di proporre soluzioni.

#### Modalità di verifica dei comportamenti

Lo studente sarà valutato sulla sua capacità di partecipare attivamente alle lezioni (chiedendo dettagli, individuando eventuali errori nei materiali



# UNIVERSITÀ DI PISA

didattici, commentando le soluzioni proposte dal docente). Inoltre, durante l'esame orale, sarà valutata la sua capacità di proporre soluzioni ingegneristicamente valide per la realizzazione degli apparati oggetto del corso.

## Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Dai corsi di Matematica:

Derivate totali e parziali; operatori differenziali; integrali; equazioni differenziali.

Dai corsi di Fisica

Unità di misura e sistemi di misura. Concetti di forza, lavoro, energia, potenza; conservazione dell'energia meccanica.

Dal corso di Fisica Tecnica

Principali variabili di stato termodinamiche; principi della termodinamica; bilanci energetici a parametri concentrati per sistemi aperti e chiusi; nozioni di trasmissione del calore.

## Indicazioni metodologiche

Il corso è composto di lezioni, in cui vengono esposti gli argomenti teorici; ad ogni nuovo concetto introdotto segue immediatamente un'applicazione dello stesso nelle esercitazioni, in cui vengono affrontati e risolti numericamente problemi di interesse pratico. Le esercitazioni sono pertanto strettamente integrate con le lezioni ed indistinguibili da esse. I docenti colloquiano continuamente con gli studenti nei ricevimenti durante e dopo la fine del corso, ed anche tramite posta elettronica. Il materiale didattico ed informatico non soggetto a copyright viene reso disponibile su Internet nel sito del docente, assieme ad alcune dispense redatte dal docente stesso su temi particolari. Per quanto possibile, vengono eseguite applicazioni numeriche nelle aule informatiche del centro di calcolo della Facoltà.

Lezioni frontali

Attività di apprendimento:

- seguire le lezioni
- preparazione di esami orali

Frequenza: consigliata

## Programma (contenuti dell'insegnamento)

### Modulo di termofluidodinamica applicata

#### 0 – Introduzione e richiami (10 h)

Richiami sui principali strumenti matematici utilizzati nel corso: operatori differenziali, teoremi di Gauss, Stokes. Sistemi di riferimento, derivate sostanziali e totali. I mezzi continui: richiami sulle principali proprietà termofisiche dei fluidi.

#### 1 – Le equazioni della termofluidodinamica. (20 h)

Equazioni di conservazione di massa, quantità di moto ed energia. Cenni alla statica dei fluidi. Equazioni di Navier-Stokes e di Eulero. Cenni ai fenomeni di turbolenza e alla loro trattazione. Equazione di Bernoulli per fluidi ideali e reali. Gruppi adimensionali e analisi dimensionale.

#### 2 – Moto esterno dei fluidi monofase (12 h)

Moto di fluidi ideali; moto irrotazionale. Moto di fluidi viscosi: equazioni dello strato limite. Flusso attorno ai corpi immersi: cenno ai fenomeni di resistenza e portanza. Coefficiente di scambio termico convettivo. Analogie tra trasporto di quantità di moto e di calore. Scambio termico nel deflusso esterno laminare e turbolento.

#### 3 – Moto interno dei fluidi monofase (12 h)

Moto di fluidi viscosi in condotti: profilo di velocità e fattore d'attrito, nel moto laminare e turbolento; cadute di pressione distribuite. Scambio termico nel moto laminare e turbolento in condotti: cenno ai modelli teorici, modelli semiempirici.

#### 4 – Cenni alla convezione naturale (4 h)

### Modulo di Progetto di Macchine

#### 5 -Principi di fluidodinamica (8 h)

Flussi comprimibili e incompresimibili, efflussi in ugelli e palette, aerodinamica dei profili alari, progetto adimensionale delle macchine

#### 6 -Turbomacchine (24 h)

Compressori e turbine assiali e radiali, triangoli delle velocità, forma dei palettamenti, soluzioni costruttive, esempi di calcolo di semplici turbomacchine, cenni al progetto 3d delle pale

#### 7 -Macchine volumetriche (16 h)

Compressori e espansori volumetrici: principi di progetto e funzionamento, ciclo limite, applicazioni ai fluidi organici

#### 8 -Esempi di calcolo fluidodinamico assistito al calcolatore (10 h)

## Bibliografia e materiale didattico

- Dispense redatte dal docente su alcuni temi particolari (disponibili in rete).
- esempi di progetto di macchine a fluido redatti dal docente (da richiedere direttamente o via posta elettronica).

## Testi di riferimento:

- A. Cengel, J.M. Cimbala, *Meccanica dei Fluidi*, McGraw-Hill, 2007, ISBN 978-88 386 6384-0, capp. 1-11. [532 CEN]
- Bejan, *Heat Transfer*, Wiley, 1993, ISBN 0-471-59952-2, capp. 5-6-7. Coll. Bib. Centrale Ingegneria: [621.402 2 BEJ HEA]
- GFC Rogers, H Cohen, PV Straznicky, *Gas Turbine Theory*, Pearson Collegeed., 2008, ISBN-13: 978-0132224376
- L. Martorano, M. Antonelli, *Elementi di Macchine a Fluido*, ETS, 2011, ISBN-13: 978-8846729767

## Altri testi utili per approfondimenti



# UNIVERSITÀ DI PISA

- Buresti, Elements of Fluid Dynamics, Imperial College Press, 2012, ISBN 978-1-84816-889-3.
- R. Munson, D.F. Young e T.H. Okiishi, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 4th ed., Wiley, 2002, ISBN 0-471-44250-X, capp. 1-9. Coll. Bib. Centrale Ingegneria: [620.106 MUN]
- E. Todreas, M.S. Kazimi, *Nuclear Systems I – Thermalhydraulic Fundamentals*, Taylor & Francis, 1989, ISBN 1-56032-051-6, capp. 4, 5, 11, 12. Coll. Bib. Centrale Ingegneria: [621.483 TOD I]
- Mattei, *Lezioni di meccanica razionale* (parte VII, Meccanica dei Continui), SEU, Pisa, 1996, Coll. Bib. Centrale Ingegneria: [531 MAT 96 r]
- Tinker, R. Lambourne, *Further Mathematics for the Physical Sciences*, Wiley, 2000, ISBN 0-471-8673-3. [530.15 FUR]
- Dixon, *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*, 2010, Butterworth-Heinemann ed., ISBN-13: 978-1856177931

## Indicazioni per non frequentanti

Contattare il docente per ottenere una guida allo studio dettagliata

## Modalità d'esame

L'esame consiste in una prova orale, incentrata prevalentemente sulla risoluzione di problemi di progetto o di verifica nell'ambito delle competenze sopra indicate.

La valutazione dell'esame tiene conto:

- della familiarità acquisita sia con le nozioni impartite nel corso sia con le conoscenze pregresse che formano la base della cultura tecnica;
- della capacità di risolvere autonomamente i problemi utilizzando le nozioni apprese;
- della capacità di giustificare criticamente le scelte operate in tale ambito;
- ed infine della capacità di esprimersi in un linguaggio tecnico chiaro ed appropriato.

Per quanto riguarda il modulo di Progetto di Macchine a Fluido, l'esame è orale e consta usualmente di tre domande a campione sul programma del modulo. La prima domanda usualmente riguarda un semplice calcolo di prima approssimazione di una macchina fra quelle trattate durante il corso e richiede quindi che lo studente venga all'esame munito di macchina calcolatrice. Si richiede che lo studente abbia chiari i concetti di base sui quali impostare il dimensionamento di una macchina e che sia in grado di effettuare le conversioni tra le unità di misura più utilizzate nel campo. Le altre due domande usualmente vertono sulla verifica delle conoscenze teoriche degli argomenti proposti durante il corso.

Ultimo aggiornamento 16/07/2021 11:55