



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## FLUID DYNAMICS OF PROPULSION SYSTEMS I

**ANGELO PASINI**

Academic year	2023/24
Course	INGEGNERIA AEROSPAZIALE
Code	752II
Credits	6

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
FLUID DYNAMICS OF PROPULSION SYSTEMS I	ING-IND/07	LEZIONI	60	LUCA D'AGOSTINO ANGELO PASINI

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

I principali obiettivi del corso sono approfondire le nozioni fondamentali della termodinamica e della fluidodinamica necessari agli studenti per comprendere il funzionamento dei sistemi propulsivi a razzo basati su propellanti chimici e affrontarne i principali problemi in merito alla loro progettazione concettuale, analisi, progettazione di dettaglio, integrazione ed uso.

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

Le conoscenze acquisite dagli studenti verranno valutate attraverso un colloquio orale. In particolare, il livello di preparazione degli studenti verrà vagliato attraverso domande e richiesta di esposizione riguardanti gli argomenti coperti dal corso.

#### *Capacità*

Alla fine del corso, si suppone che lo studente, partendo dalle conoscenze acquisite, sia capace di affrontare problemi realistici legati al campo della termofluidodinamica dei sistemi propulsivi. In particolare, le capacità richieste per risolvere problemi realistici negli ambiti del corso sono:

- capacità di identificare gli obiettivi e le risorse disponibili per affrontare il problema
- capacità di comprensione fisica del problema
- capacità di discriminare le informazioni essenziali/irrilevanti del problema
- capacità di proporre soluzioni
- capacità di valutazione critica dei risultati

#### *Modalità di verifica delle capacità*

Durante il colloquio orale, la preparazione dello studente verrà verificata sia attraverso domande riguardanti gli argomenti discussi a lezione sia attraverso la risoluzione di problemi che implicano l'utilizzo delle capacità acquisite durante lo studio del corso.

#### *Comportamenti*

Alla fine del corso, ci si aspetta che lo studente abbia acquisito una sufficiente confidenza con gli argomenti teorici esposti nel corso e le conseguenti applicazioni in modo tale da poter affrontare e risolvere nuovi problemi non banali associati ai sistemi di propulsione.

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Durante l'esame orale, lo studente verrà posto di fronte a tipici problemi associati agli argomenti sopradescritti e verrà valutato sulla sua capacità di elaborare le informazioni fornite per generare soluzioni dei problemi.

#### **Prerequisiti (conoscenze iniziali)**

Tutti i contenuti dei corsi della laurea triennale in ingegneria aerospaziale.

Più specificatamente, utili prerequisiti riguardano la conoscenza dei fondamentali di:

- termodinamica applicata, trasferimento del calore (conduzione, convezione, irraggiamento)
- fluidodinamica, aerodinamica, gasdinamica
- meccanica, acustica, termodinamica, elettromagnetismo, ottica
- meccanica analitica (cinematica, statica, dinamica)
- analisi matematica, calcolo differenziale, geometria, calcolo vettoriale e tensoriale
- calcolo complesso, equazioni differenziali a derivate ordinarie, equazioni differenziali a derivate parziali



## UNIVERSITÀ DI PISA

- tecnologia meccanica
- propulsione aeronautica (cicli termici, motori, turbomacchine, parametri operativi, requisiti, applicazioni, ecc.)

### Indicazioni metodologiche

- Le lezioni frontali vengono svolte sia con l'ausilio di slide che alla lavagna.
- Le esercitazioni in aula consistono dello svolgimento di alcuni problemi numerici, esplicativi degli argomenti trattati. I problemi sono analoghi a quelli proposti per lo studio personale ed all'esame.
- Tutto il materiale didattico utilizzato a lezione è messo a disposizione degli studenti tramite il sito elearning.
- Il sito elearning è utilizzato per tutte le comunicazioni agli studenti e la gestione degli esami.
- A supporto dello studio personale, il ricevimento settimanale è accessibile agli studenti mediante appuntamento con il docente.

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

#### *Calcolo Vettoriale e Tensoriale.*

Scalari, vettori e tensori nello spazio fisico; leggi di combinazione. Vettori e tensori negli spazi reali Euclidei Cartesiani a dimensioni finite: componenti e cambio di base; tensori ortogonali, simmetrici, antisimmetrici e inversi; sottospazi invarianti 1D e 2D, traccia, determinante e rappresentazione canonica di tensori. Differenziazione scalare e integrazione di vettori. Geometria differenziale di curve e superfici. Differenziazione nel tempo e nello spazio di vettori e tensori. Teoremi di integrazione vettoriale. Coordinate cartesiane e curvilinee ortogonali.  
*Termodinamica Avanzata.*

Principi generali ed equilibrio termodinamico, formulazioni alternative, derivate termodinamiche. Gas ideali e reali. Scale termometriche. Processi e cicli termodinamici, macchine termiche. Stabilità termodinamica.  
*Termochimica.*

Equilibrio di reazioni chimiche singole o simultanee. Equilibrio chimico in gas ideali. Dati termodinamici e proprietà di formazione. Calori di reazione. Reazioni adiabatiche e non adiabatiche. Dipendenza parametrica. Reazioni in gas reali.  
*Cinetica Chimica.*

Reazioni elementari, costanti e tempi di avanzamento. Ordine di reazione e molarità. Reazioni consecutive, compatitive ed opposte. Reazioni a catena ed esplosive. Modelli e cinetica di reazioni analitiche e globali.  
*Cinetica dei Gas.*

Classica teoria cinetica dei gas. Distribuzione di Maxwell. Meccanica statistica e sua relazione con la termodinamica.  
*Equazioni dei Fluidi.*

Coordinate e cinematica del flusso. Equazioni conservative e costitutive. Forme speciali delle equazioni conservative. Proprietà di trasporto. Condizioni al contorno. Similitudine fluidodinamica.  
*Gas Dinamica.*

Condizioni e proprietà di ristagno. Flussi comprimibili quasi-1D in condotti. Onde planari non lineari: urti normali adiabatici e non adiabatici, urti obliqui, detonazioni e deflagrazioni, tubi d'urto.  
*Calcolo Complesso.*

Numeri complessi e rappresentazioni. Funzioni a variabili complesse: potenze e radici; differenziazione, funzioni elementari, rami e rami principali. Mappatura analitica. Integrazione complessa, serie di potenze, singolarità e poli. Integrazione a residui.  
*Flussi Ideali.*

Equazioni di governo, funzione potenziale di corrente e di velocità. Flusso potenziale planare: formulazione dell'analisi complessa; soluzioni a variabili separabili elementari e sovrapposizione, forze e momenti del flusso, flusso attorno ad un cilindro, trasformazioni del flusso e soluzioni attraverso mappatura conforme ed analitica; lastra piana, flusso in schiera di palette lineare e radiale. Flusso potenziale ideale assialsimmetrico: soluzioni a variabili separabili elementari e sovrapposizione. Flussi non stazionari e forze di massa apparenti. Onde in superfici libere planari e assialsimmetriche, instabilità di Rayleigh-Taylor.

### Bibliografia e materiale didattico

- Materiale didattico fornito dal docente (disponibile sul sito web: e-learning)

I libri di testo raccomandati per un approfondimento degli argomenti coperti dal corso sono:

- Currie I. G., 1993, "Fundamental Mechanics of Fluids", McGraw-Hill, (fluid dynamic equations, ideal flows)
- Anderson J. D. Jr., 1990, "Modern Compressible Flow with Historical Perspective", McGraw-Hill, (1D gas dynamics, linear and nonlinear waves).
- Callen H.B., 1985, "Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics", John Wiley & Sons (advanced thermodynamics)
- Çengel Y. A.; Boles M. A., 2015, "Thermodynamics : An Engineering Approach", New York: McGraw-Hill Education, [2015] ©2015 (advanced thermodynamics)
- Eckert & Drake, 1972, "Analysis of Heat and Mass Transfer", MacGraw Hill Inc. (heat conduction, convection and radiation).
- Turns, S.R., 1996, "An Introduction to Combustion", McGraw Hill, (thermochemistry, chemical kinetics, chemically reacting flows)



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

and elements of combustion)

- Vincenti W.G. & Kruger C.H., 1986, "Physical Gas Dynamics", Krieger Publ. Co., Malabar, FL, USA (gas kinetics)

### Indicazioni per non frequentanti

I contenuti del corso sono ogni anno in parte rielaborati. Si consiglia di tenersi aggiornati sulle ultime versioni dei documenti a supporto delle lezioni tramite e-learning e consultando il docente.

E' molto importante integrare lo studio con lo svolgimento degli esercizi proposti, reperibili su e-learning.

### Modalità d'esame

L'esame è un colloquio orale che consiste in:

- soluzione (su foglio o alla lavagna) di uno o più problemi (tipicamente due) riguardanti il programma del corso. L'uso del materiale distribuito dal docente durante il corso è permesso, a meno che diversamente indicato al momento dell'assegnazione del problema;
- domande e richiesta di esposizione riguardanti gli argomenti coperti dal corso.

L'esame si prefigge di verificare il livello di comprensione degli argomenti del corso e la capacità usare le nozioni acquisite per sviluppare soluzioni originali.

*Ultimo aggiornamento 20/10/2023 17:43*