



UNIVERSITÀ DI PISA

FLUID DYNAMICS OF PROPULSION SYSTEMS II

ANGELO PASINI

Academic year

2023/24

Course

INGEGNERIA AEROSPAZIALE

Code

753II

Credits

6

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
FLUID DYNAMICS OF PROPULSION SYSTEMS II	ING-IND/07	LEZIONI	60	ANGELO PASINI

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze

Coprire i principali argomenti più avanzati delle discipline termofluidodinamiche necessari per comprendere il funzionamento dei sistemi di propulsione chimici a razzo oggetto del successivo corso di Rocket Propulsion e affrontare i problemi principali della loro concezione, analisi, progettazione, integrazione e uso.

Modalità di verifica delle conoscenze

Esame dello studente consistente nella illustrazione, discussione ed applicazione degli argomenti trattati nelle lezioni. L'esame ha lo scopo di verificare il grado di comprensione degli argomenti del corso e la capacità di utilizzarlo per sviluppare soluzioni originali.

Capacità

Alla fine del corso lo studente dovrà essere in grado di:

- Formulare, discutere e risolvere problemi tecnici ed ingegneristici inerenti la termofluidodinamica dei propulsori aerospaziali a propellenti chimici applicando le conoscenze ed i metodi illustrati nel corso.
- Ideare e risolvere modelli originali per l'analisi e lo studio di problemi ingegneristici inerenti il programma del corso utilizzando in modo originale e creativo gli approcci illustrati nelle lezioni.

Modalità di verifica delle capacità

Esame dello studente, consistente nella soluzione (scritta o sulla lavagna) di uno o più problemi relativi al programma del corso. L'uso del materiale distribuito dal docente durante il corso è consentito, salvo diversa indicazione al momento dell'assegnazione del problema.

Comportamenti

Lo studente deve dimostrare di saper lavorare in collaborazione e di comportarsi lealmente e rispettosamente nei confronti del docente, del personale universitario, dei suoi colleghi ed in generale dell'Università nel suo complesso.

Modalità di verifica dei comportamenti

Interazione diretta con lo studente durante le lezioni, le esercitazioni e gli esami.

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Tutti i contenuti di:

- i corsi della laurea triennale in ingegneria aerospaziale ed in particolare quelli dei corsi di Termodinamica Applicata, Fisica II, Elettronica, Fluidodinamica e Motori per Aeromobili;
- del corso di Fluids Dynamics of Propulsion Systems I del primo anno della laurea magistrale in ingegneria aerospaziale.

Più in generale i fondamenti di:

Scienze Termofluidodinamiche:

- termodinamica applicata, trasferimento di calore (conduzione, convezione, radiazione)
- meccanica dei fluidi, aerodinamica, dinamica dei gas

Fisica e Meccanica:

- meccanica, acustica, termodinamica, elettromagnetismo, ottica



UNIVERSITÀ DI PISA

- meccanica analitica (cinematica, statica, dinamica)
- meccanica della struttura e dinamica

Matematica applicata:

- analisi di calcolo, serie, ODE, PDE, geometria, vettoriale e tensoriale
- calcolo complesso, ODE, funzioni speciali, EVP e BVP
- analisi numerica, equazioni multiple non lineari, integrazione, ODE, PDE
- programmazione per computer, BASIC, FORTRAN, C, MathLab, MathCad, ecc.

Tecnologie di produzione

Propulsione aeronautica:

- cicli, motori, turbomacchine, parametri di funzionamento, requisiti, applicazioni

Indicazioni metodologiche

- Le lezioni frontali vengono svolte con l'ausilio di trasparenze.
- Il materiale didattico utilizzato a lezione è messo a disposizione degli studenti tramite il sito elearning.
- Il sito elearning è utilizzato per le comunicazioni agli studenti e la gestione degli esami.
- Il ricevimento settimanale è accessibile agli studenti senza prenotazione.
- Gli esercizi del corso sono analoghi a quelli proposti all'esame, sono corredati dalla soluzione per consentirne la verifica, e consistono dello svolgimento indipendente di problemi applicativi degli argomenti trattati.

Programma (contenuti dell'insegnamento)

Funzioni speciali. Equazioni Differenziali Ordinarie (EDO) quasi-lineari di primo e secondo ordine e loro soluzione, integrali impropri. Le funzioni Gamma, Bessel e Legendre. Problemi ai Valori al Contorno (PVC) omogenei di Sturm-Liouville del 2° ordine: autovettori, autofunzioni e ortogonalità. PVC di Sturm-Liouville non omogenei.

Acustica. Equazione delle onde. Intensità e potenza acustiche. Onde armoniche planari e sferiche. Monopoli, dipoli e quadrupoli. Generazione/attenuazione acustica da sorgenti, forze e rilascio di calore distribuiti. Interazioni onda-superficie. Onde stazionarie. Guide d'onda. Dissipatori acustici.

Idrodinamica. Flussi idrodinamici quasi-1D in condotti: velocità del suono, flussi costanti, oscillazioni acustiche, colpi d'ariete.

Trasferimento di calore. Conduzione: equazione del calore, reti termiche stazionarie, problemi stazionari 1D e quasi-1D; conduzione 1D non stazionaria, ablazione. Convezione: meccanismi, traspirazione e raffreddamento ad iniezione da fessure e fori. Radiazione: generalità, radiazione termica, proprietà radianti dei materiali, reti radiative in cavità con/senza mezzo di trasmissione, radiazione di fiamme.

Flussi viscosi laminari. Flussi sviluppati in tubi, flussi di taglio, flussi intorno a cilindri e sfere. Flussi incompressibili quasi paralleli: strati limite cinematici e termici, parametri ed equazioni integrali, strati limite planari e assialsimmetrici; getti; scie e flussi di taglio. Flussi comprimibili quasi paralleli: strati limite planari e assialsimmetrici, flussi di ristagno, teoria newtoniana dei flussi ad alta velocità.

Stabilità fluidodinamica e transizione turbolenta. Effetti dinamici non lineari, stabilità lineare di flussi paralleli, equazioni di Reynolds e Orr-Sommerfeld. Transizione turbolenta: sviluppo, dipendenza parametrica e previsione.

Flussi turbolenti. Descrizione del flusso turbolento incompressibile, equazioni e analisi; energia cinetica turbolenta. Strati limite planari e assialsimmetrici. Flussi in condotti; getti e scie liberi. Modelli di turbolenza. Strati limite comprimibili.

Elementi di combustione e flussi chimicamente reagenti. Trasferimento di massa. Equazioni di conservazione per flussi chimicamente reagenti. Fiamme laminari, premiscelate e diffusive. Evaporazione e combustione di gocce. Fiamme turbolente.

Flussi bifase e cavitazione. Conservazione e equazioni costitutive. Flussi con polveri e con nebbia. Cambiamenti di fase, ebollizione e cavitazione, nucleazione e dinamica delle bolle. Forme di cavitazione e parametri di similitudine. Flusso liquido/gas, liquido/gas/vapore e liquido/vapore. Effetti termici. Simulazione di flussi cavitanti.

Bibliografia e materiale didattico

Riferimenti

Dispense del docente.

I riferimenti bibliografici consigliati per l'approfondimento dei principali argomenti trattati nel corso sono:

Anderson J. D. Jr., 1990, "Modern Compressible Flow with Historical Perspective", McGraw-Hill (dinamica del gas 1D, onde lineari e non lineari).

Brennen C. E., 1995, "Cavitation and Bubble Dynamics", Oxford University Press (flussi bifase, idrodinamica 1D, cavitazione).

Callen H.B., 1985, "Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics", John Wiley & Sons (termodinamica avanzata)

Currie I. G., 1993, "Fundamental Mechanics of Fluids", McGraw-Hill (equazioni fluidodinamiche, flussi ideali)

Eckert & Drake, 1972, "Analysis of Heat and Mass Transfer", McGraw Hill Inc. (conduzione del calore, convezione e irraggiamento).

Turns, S.R., 1996, "An Introduction to Combustion", McGraw Hill (termochimica, cinetica chimica, flussi che reagiscono chimicamente ed elementi di combustione)

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

White F.E., 1974, "Viscous Fluid Flow", McGraw Hill (flussi viscosi laminari, stabilità fluidodinamica e transizione turbolenta, flussi turbolenti).

Indicazioni per non frequentanti

Si consiglia di integrare lo studio con lo svolgimento degli esercizi proposti, reperibili su e-learning.

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.



UNIVERSITÀ DI PISA

Modalità d'esame

Esame dello studente consistente in:

- Illustrazione e discussione degli argomenti trattati nel corso.
- La soluzione (scritta o sulla lavagna) di uno o più problemi relativi al programma del corso.

L'uso del materiale distribuito dal docente durante il corso è consentito, salvo diversa indicazione al momento dell'assegnazione del problema.
L'esame ha lo scopo di verificare il grado di comprensione degli argomenti del corso e la capacità di utilizzarlo per sviluppare soluzioni originali.

Ultimo aggiornamento 05/11/2023 19:53