UNIVERSITÀ DI PISA

FISICA TECNICA

CARLO BARTOLI

Academic year	2022/23
Course	INGEGNERIA DELL'ENERGIA
Code	616II
Credits	12

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
FISICA TECNICA	ING-IND/10	LEZIONI	120	CARLO BARTOLI DANIELE TESTI

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze
Lo studente avrà acquisito conoscenze sui concetti di termodinamica applicata, fluidodinamica e trasmissione del calore e sui relativi metodi analitici e applicativi.

Modalità di verifica delle conoscenze
La verifica delle conoscenze sarà oggetto di valutazione durante l'esame orale.

Capacità
Lo studente sarà in grado di interpretare i fenomeni di termodinamica, fluidodinamica e scambio termico e applicarli a problemi ingegneristici.

Modalità di verifica delle capacità
Durante l'esame orale, lo studente dovrà individuare i metodi più corretti da utilizzare per risolvere i problemi di fisica tecnica proposti.

Comportamenti
Lo studente acquisirà maggiore consapevolezza sulle problematiche di fisica tecnica e sulle relative applicazioni ingegneristiche.

Modalità di verifica dei comportamenti
Durante l'esame orale, si verificherà l'autonomia dello studente nella modellazione e nella risoluzione dei problemi proposti.

Prerequisiti (conoscenze iniziali)
Conoscenze di analisi e fisica generale.

Programma (contenuti dell'insegnamento)
Definizioni di sistema, frontiera e ambiente. Funzioni di stato e loro proprietà. Funzioni di linea. Ipotesi del continuo. Definizione di densità locale. Sistemi chiusi e sistemi isolati, in regime stazionario e in regime transitorio. Trasformazioni quasi-statiche. Lavoro e convenzione sui segni in termodinamica applicata. Lavoro di variazione di volume. Lavoro di pulsione. Lavoro netto.
Proprietà termometriche. Equazione di stato dei gas perfetti per un volume finito ed equazione locale. Zero assoluto e scala kelvin della temperatura. Calcolo della pressione di un gas perfetto in funzione della velocità delle molecole. Energia interna ed espressione per gas monoatomici e biatomici. Equilibrio termico e principio zero della termodinamica. Definizione di calore. Calore specifico a volume costante. Comprimibilità.
Portata. Bilancio di massa per sistemi aperti in regime non stazionario. Forze conservative ed energia potenziale. Circuitazione e flusso di un vettore. Operatori gradiente e rotore. Teorema di Stokes. Bilancio di energia per sistemi aperti in regime non stazionario. Enunciato del primo principio della termodinamica per una trasformazione ciclica. Calcolo del lavoro di pulsione per un sistema aperto. Definizione di entalpia ed espressione per un gas perfetto. Calore specifico a pressione costante. Relazione di Mayer. Espressione del bilancio di energia con lavoro netto ed entalpia.
Secondo principio della termodinamica. Enunciato di Clausius. Enunciato di Kelvin-Planck. Rendimento di un ciclo diretto. Coefficiente di prestazione di una pompa di calore e di una macchina frigorifera. Teorema e corollari di Carnot. Ciclo diretto di Carnot e calcolo del massimo rendimento. Ciclo inverso di Carnot e calcolo del massimo coefficiente di prestazione. Disuguaglianza di Clausius. Definizione di entropia. Entropia generata. Bilancio di entropia per sistemi aperti in condizioni non stazionarie. Relazioni di Gibbs. Equazione di una trasformazione isoentropica in un gas perfetto. Dimostrazione del primo corollario di Carnot. Dimostrazione che il rendimento del ciclo di Carnot è maggiore di

quello di un ciclo che scambia con 3 sorgenti. Dimostrazione dell'uguaglianza di Clausius per cicli reversibili. Dimostrazione della disuguaglianza di Clausius per cicli irreversibili.
Le trasformazioni dei gas perfetti nei piani termodinamici p-v e T-s. Confronto tra compressione isoterma, isoentropica e isocora in termini di lavoro netto speso. Compressione interrefrigerata e pressione intermedia ottimale. Compressore adiabatico irreversibile e rendimento isoentropico di compressione. Confronto tra espansione isoterma e isoentropica in termini di lavoro netto ottenuto. Espansione in due stadi con surriscaldamento intermedio. Turbina adiabatica irreversibile e rendimento isoentropico di espansione.
Concetto di intorno e stato morto. Calcolo del lavoro disponibile. Legge di Gouy-Stodola. Definizione della funzione di stato disponibilità. Bilancio di disponibilità per un sistema chiuso. Definizione della funzione di stato exergia. Bilancio di disponibilità per un sistema aperto. Calcolo dell'entropia generata da irreversibilità esterne in un ciclo di Carnot internamente reversibile, ma con sorgenti a temperatura diversa dalle isoterme. Rendimento di secondo principio per macchine a ciclo diretto e a ciclo inverso.
Teorema di Bernoulli in forma generalizzata: ipotesi, dimostrazione e discussione dei termini coinvolti. Profilo di velocità in un condotto. Condizione al contorno di non scorrimento. Portata di energia cinetica. Origine fisica della viscosità. Espressione dello sforzo viscoso per fluidi newtoniani. Coefficiente di viscosità dinamica. Calcolo analitico in un condotto a sezione circolare del profilo di velocità e della diminuzione di pressione per effetto degli sforzi viscosi. Calcolo del coefficiente correttivo per l'energia cinetica nel Teorema di Bernoulli. Numero di Reynolds e significato fisico. Valori critici del numero di Reynolds per la transizione da regime laminare a turbolento. Cenni alle caratteristiche dei flussi turbolenti. Profilo di velocità in un flusso turbolento. Calcolo del lavoro di attrito in un condotto. Fattore di attrito. Diagramma di Moody. Rugosità relativa. Bilancio di quantità di moto per un volume di controllo. Forze di volume e forze di superficie. Portata di quantità di moto. Calcolo del coefficiente correttivo per i termini di sistema aperto nel bilancio di quantità di moto.
Onde acustiche. Calcolo della velocità del suono. Numero di Mach. Condizioni di comprimibilità in funzione del numero di Mach. Condizioni di ristagno. Comportamento di ugelli e diffusori in regime subsonico e supersonico. Andamento di pressione e velocità in un condotto convergente al variare della pressione dell'ambiente di uscita. Pressione critica. Portata bloccata. Flusso isoentropico di gas caloricamente perfetti in ugelli e diffusori. Determinazione delle funzioni di stato rispetto al numero di Mach. Andamento di pressione e velocità in un condotto convergente-divergente al variare della pressione dell'ambiente di uscita. Fenomeno delle onde d'urto normali. Bilanci di massa, quantità di moto, energia ed entropia per un'onda d'urto normale. Salto di temperatura, pressione, densità, numero di Mach ed entropia attraverso un'onda d'urto normale per un gas perfetto.
Esperienza di Joule-Thomson. Diagrammi di stato per una sostanza pura: diagramma p-T e p-v (Clapeyron). Definizione di vapore saturo, liquido sottoraffreddato, vapore surriscaldato, punto triplo, punto critico.
Definizione di titolo di vapore X, regola della leva per il titolo e tabelle dei vapori saturi. Diagramma I-S (Mollier), traslazione delle isobare sull'I-S, diagramma p-I in scala lineare e logaritmica.
Ciclo turbina a vapore (Rankine e Hirn), ideale e reale, rappresentazione del ciclo nei diagrammi T-s, p-v, I-s. Definizione di "limite austenitico". Metodi per aumentare il rendimento del ciclo Hirn: risurriscaldamento e tecnica dello spillamento di vapore e suoi vantaggi. Definizione di temperatura media di scambio superiore e inferiore.
Ciclo turbina a gas e ciclo di riferimento Joule-Brayton. Calcolo e semplificazione del rendimento del ciclo Joule-Brayton. Definizione di rapporto di compressione. Metodi per massimizzare il rendimento del ciclo Joule-Brayton. Tecnica della rigenerazione nel ciclo Joule-Brayton. Tecnica del frazionamento per cicli Joule-Brayton.
Rappresentazione del ciclo frigorifero nei diagrammi T-s, I-s (ideale e reale), p-I. Cenni della tecnica di dimensionamento di una macchina frigorifera e di come definire la temperatura del condensatore e dell'evaporatore. Doppio ciclo frigorifero con collettore separatore e vantaggi rispetto al ciclo standard. Metodi per prolungare la durata di un frigorifero. Dimensionamento della macchina frigorifera nel caso di ciclo standard e doppio ciclo. Introduzione ai cicli criogenici. Ciclo Gifford-McMahon e rappresentazione del ciclo di riferimento nel diagramma T-s.
Ciclo ad acqua a compressione statica, introduzione ai cicli diretti a combustione interna. Ciclo a benzina: funzionamento e ciclo di riferimento (ciclo Otto). Rappresentazione del ciclo nel diagramma dell'indicatore e rappresentazione del ciclo di riferimento nei diagrammi di stato p-v e T-s. Definizione di PMS e PMI. Calcoo del rendimento del ciclo Otto in funzione del rapporto di compressione. Ciclo a gasolio e ciclo di riferimento (ciclo Diesel). Differenze tra ciclo Diesel e ciclo Otto. Calcolo del rendimento del ciclo Diesel.
Trasmissione del calore per irraggiamento. Convezione naturale e forzata, definizione di "strato limite" e "bordo d'attacco" e cenni sul profilo di velocità e temperatura nello strato limite. Definizione di coefficiente di convezione h e legge di Newton della convezione termica e analogia elettrica con la legge di Ohm. Trasmissione del calore per conduzione. Postulato di Fourier e dimostrazione dell'equazione di Fourier. Distribuzione della temperatura in pareti cilindriche con e senza "generazione" di calore per effetto Joule.
Scambiatori: tipologie. Primo principio per uno scambiatore adiabatico. Definizione di scambiatore controcorrente e vantaggi rispetto all'equicorrente. Utilizzo da metodo a parametri concentrati per la risoluzione di scambiatori a flussi separati equicorrente e controcorrente.

Bibliografia e materiale didattico

- Moran, Shapiro, Munson & DeWitt, Elementi di Fisica Tecnica per l'Ingegneria, McGraw-Hill.
- Çengel, Elementi di Fisica Tecnica, McGraw-Hill.
- Çengel, Termodinamica e Trasmissione del Calore, McGraw-Hill.
- Mattarolo & Cavallini, Termodinamica applicata, CLEUP.

Modalità d'esame

L'esame finale si svolge in modalità orale. La durata è di circa un'ora per candidato. La commissione d'esame tipicamente rivolge da due a quattro domande nel complesso, che possono riguardare sia l'esposizione di nozioni teoriche, sia la risoluzione di esercizi applicativi.

Altri riferimenti web

Registro delle lezioni: https://unimap.unipi.it/registri/dettregistriNEW.php?re=7084031::::&ri=011203

Ultimo aggiornamento 22/10/2022 12:35