



Docente responsabile dell'insegnamento/attività formativa

Nome

Cognome

Denominazione insegnamento/attività formativa

Italiano

Inglese

Informazioni insegnamento/attività formativa

A.A.



L



LM



LM CU

CdS

Codice

Canale

CFU

Lingua

Docente del modulo didattico (compilare solo per attività formative articolate in moduli)

Nome

Cognome

Denominazione modulo didattico (compilare solo per attività formative articolate in moduli)

Italiano

Inglese



Obiettivi formativi e risultati di apprendimento attesi

Italiano

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso si propone di fornire agli studenti e alle studentesse una formazione avanzata sia sulle modalità di trasmissione del calore sia sugli impianti termotecnici.

In merito ai principi di scambio termico, l'approccio ai problemi sarà sia teorico, per la comprensione del fenomeno fisico, sia numerico, per la determinazione degli andamenti di temperatura e dei flussi termici.

Per la parte impiantistica, l'obiettivo è fornire un'ulteriore conoscenza dei componenti, delle tecnologie e degli strumenti per la progettazione avanzata degli impianti termotecnici e della loro regolazione.

CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE

Si prevede che lo studente sia in grado di:

- conoscere i principi della termofluidodinamica in relazione all'ebollizione e alla condensazione;
- conoscere i metodi per la soluzione di problemi di trasmissione del calore;
- descrivere sia qualitativamente sia in forma matematica i principali componenti degli impianti;
- conoscere particolari impianti e sistemi tecnici (cicli inversi frigoriferi e criogenici, pompe di calore, impianti ad assorbimento, sistemi di accumulo termico, impianti solari, impianti di climatizzazione), descritti sia in termini di funzionamento reale che di approccio termodinamico;
- conoscere gli aspetti relativi alla regolazione e al fuori progetto degli impianti.

CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE

A partire dalle conoscenze di base acquisite, lo studente sarà in grado di:

- determinare le potenze termiche scambiate e gli andamenti delle temperature nei principali sistemi termodinamici;
- impostare ed eseguire bilanci di massa e di energia applicati a componenti e sistemi termodinamici;
- sviluppare il progetto preliminare di impianti termotecnici, individuando le soluzioni impiantistiche più appropriate.

In particolare, gli studenti dovranno essere in grado di progettare impianti termotecnici mediante la selezione e il dimensionamento dei componenti in conformità alle specifiche di progetto assegnate. Sono previste due esercitazioni progettuali, svolte in gruppi composti da un numero limitato di studenti (da 2 a 4), finalizzate a simulare attività tipiche della pratica professionale all'interno di società di ingegneria e di progettazione o di enti di ricerca.

La prima esercitazione riguarda l'analisi di primo e secondo principio delle principali applicazioni industriali dello scambio termico mediante l'impiego di metodi analitici, approssimati e numerici.

La seconda esercitazione è finalizzata all'ottimizzazione di un impianto frigorifero mediante un'analisi energetica, exergetica e termoeconomica.

AUTONOMIA DI GIUDIZIO

Gli studenti e le studentesse, con la propria consapevolezza critica, dovranno dimostrare di aver acquisito un'autonomia di giudizio tale da consentire loro di possedere sia una visione d'insieme degli impianti sia una conoscenza dettagliata dei componenti. La consapevolezza degli aspetti fenomenologici, funzionali, ambientali ed economici consentirà loro di individuare i criteri di sintesi per l'ottimizzazione dei problemi proposti.

ABILITÀ COMUNICATIVE

Gli studenti saranno valutati mediante un esame orale, durante il quale dovranno dimostrare di saper illustrare in modo sintetico, rigoroso e chiaro i fondamenti teorici



relativi alle tematiche affrontate nel corso. Durante lo svolgimento dell'insegnamento, gli studenti dovranno inoltre sviluppare due elaborati progettuali, che saranno oggetto di discussione e presentazione in sede di esame orale. Tali attività sono finalizzate a verificare la capacità di applicare le conoscenze teoriche acquisite alla risoluzione di problematiche progettuali tipiche dell'ambito termotecnico.

Poiché gli elaborati progettuali saranno sviluppati in gruppo, gli studenti avranno inoltre l'opportunità di sperimentare dinamiche di collaborazione e apprendimento in team (team learning) nell'ambito di attività caratterizzate da approcci di analisi, progettazione e problem-solving.

Le competenze acquisite consentiranno agli studenti di comunicare efficacemente con committenti, colleghi e altri interlocutori tecnici, illustrando le scelte progettuali adottate, le metodologie impiegate e i risultati conseguiti

CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO

Gli studenti dovranno essere in grado di consultare, interpretare e comprendere testi tecnici, normative, schede tecniche e articoli scientifici, al fine di approfondire gli aspetti ingegneristici trattati nel corso. Tali competenze saranno inoltre applicabili nei successivi contesti professionali, favorendo l'acquisizione di un metodo di lavoro orientato al continuo aggiornamento delle conoscenze e alla formazione permanente (lifelong learning).

LEARNING OUTCOMES

The course aims to provide students with advanced knowledge of both heat transfer mechanisms and thermal engineering systems. With regard to heat transfer principles, the approach to problem analysis will combine a theoretical understanding of the physical phenomena with numerical methods to determine temperature distributions and heat fluxes.

As far as thermal systems are concerned, the objective is to provide students with further knowledge of components, technologies, and design tools for the advanced design of thermal engineering systems and their control strategies.

KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING

Students are expected to be able to:

- understand the principles of thermofluid dynamics related to boiling and condensation phenomena;
- understand methods for solving heat transfer problems;
- describe the main components of thermal systems both from a qualitative perspective and through mathematical models;
- understand specific technical systems and applications (reverse refrigeration and cryogenic cycles, heat pumps, absorption systems, thermal energy storage systems, solar thermal systems, and HVAC systems), described both in terms of their real operating behaviour and thermodynamic analysis;
- understand the aspects related to system control and off-design operating conditions.

APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING

Based on the knowledge acquired during the course, students will be able to:

- determine heat transfer rates and temperature profiles in the main thermodynamic systems;
- formulate and perform mass and energy balances applied to thermodynamic components and systems;
- develop preliminary designs of thermal engineering systems by identifying the most appropriate technical solutions.

In particular, students will be able to design thermal engineering systems by selecting and sizing components in accordance with the assigned design specifications.

Inglese



Two design projects will be carried out in small groups (composed of 2 to 4 students), aimed at simulating typical professional activities performed in engineering design companies or research institutions.

The first practical session focuses on the first- and second-law analysis of the main industrial heat-transfer applications using analytical, approximate, and numerical methods.

The second practical session focuses on the optimisation of a refrigeration system through energy, exergy, and thermoeconomic analyses.

MAKING JUDGEMENTS

Students will be expected to demonstrate the acquisition of independent judgement and critical awareness, enabling them to develop both a comprehensive understanding of thermal systems and a detailed knowledge of their components.

The awareness of the physical, functional, environmental, and economic aspects involved will allow students to identify appropriate synthesis criteria for the optimization of the proposed engineering problems.

COMMUNICATION SKILLS

Students will be assessed through an oral examination, during which they will be required to demonstrate their ability to present the theoretical foundations related to the topics covered in the course in a concise, rigorous, and clear manner.

During the course, students will also develop two design projects, which will be discussed and presented during the oral examination. These activities aim to assess students' ability to apply acquired theoretical knowledge to solve typical design problems in thermal engineering.

Since the design projects will be carried out in groups, students will also have the opportunity to experience teamwork and collaborative learning dynamics (team learning) through activities involving analysis, design, and problem-solving.

The acquired skills will enable students to communicate effectively with clients, colleagues, and other technical stakeholders, presenting the adopted design choices, the methodologies used, and the results achieved.

LEARNING SKILLS

Students will be able to consult, interpret, and understand technical documents, standards, datasheets, and scientific papers in order to further develop the engineering aspects addressed during the course.

These skills will also be applicable in future professional contexts, promoting the acquisition of a working method based on continuous knowledge updating and lifelong learning.



Prerequisiti

Italiano

Conoscenza delle nozioni di base dei corsi di Fisica Tecnica in termodinamica, trasmissione del calore e termofluidodinamica.

Inglese

Knowledge of the basics from the course of Thermal Engineering and Industrial Energy Systems about thermodynamics, heat transfer and thermal-fluid dynamics.

Programma

Approfondimenti di Trasmissione del Calore

Conduzione

Conduzione termica in regime stazionario: Equazione generale della conduzione.

Alette di raffreddamento.

Conduzione con generazione del calore in varie geometrie.

Resistenza termica di contatto. Conduzione a regime non stazionario in contenitori con e senza capacità termica

Parete indefinita. Corpo semi-infinito e temperatura interfacciale.

Convezione

Lasta piana: equazione di conservazione della massa, della quantità di moto e dell'energia. Misure di laboratorio.

Teoria di Nusselt della condensazione a film.

L'ebollizione in quiete (pool boiling) e in convezione forzata (forced convection boiling).

Componenti per Impianti

Scambiatori di Calore

Tipi di scambiatori di calore. Progettazione e verifica. Metodo della differenza di temperatura media logaritmica.

Metodo eps - NTU. Metodo psi - P

Italiano

Collettori Solari

Tubi di calore

Scambiatori (Evaporatori e Condensatori) e Torri di raffreddamento

Compressori volumetrici e dinamici per impianti frigoriferi

Valvole di espansione per impianti frigoriferi

Il Metanodotto e il Camino.

Impianti Termotecnici

Pompe di Calore

Impianti Frigoriferi e Criogenici

I Refrigeranti

Criteri generali di progettazione. Impianto frigorifero con camera flash, con eiettore.

Impianti ad aria, impianti per aerei. Impianti transcritici.

Trigenerazione.

Impianti di liquefazione dei gas. Esperienza di Joule – Thomson.

Impianti frigoriferi termoelettrici: Effetto frigorifero e rendimento, fattore di irreversibilità, ottimizzazione dei parametri.

Impianti frigoriferi ad assorbimento

Impianti di accumulo termico



Impianti di climatizzazione

Progettazione nel caso estivo

Impianti solari termici

Sistemi di Regolazione degli Impianti

Modo discontinuo - Modo proporzionale - Modo integrale.

Regolazione automatica degli impianti frigoriferi (valvole, comportamento e caratteristiche)

Cenni di termoeconomia ed exergoeconomia per l'analisi di impianti frigoriferi.

Esercitazioni-Progetti

1°: Simulazioni termofluidodinamiche con analisi di secondo principio

Applicazioni dello scambio termico in ambito industriale: soluzioni analitiche, approssimate e numeriche.

2°: Ottimizzazione e analisi energetica, exergetica e termoeconomica di un impianto frigorifero.

Advanced Topics in Heat Transfer

Heat Conduction

Steady-state heat conduction: General heat conduction equation.

Extended surfaces (fins).

Heat conduction with internal heat generation in various geometries.

Thermal contact resistance.

Transient heat conduction in systems with and without thermal capacitance.

Infinite wall.

Semi-infinite body and interface temperature.

Heat Convection

Flat plate: conservation equations of mass, momentum, and energy. Laboratory measurements.

Nusselt film condensation theory.

Pool boiling and forced-convection boiling.

Components of Thermal Systems

Heat Exchangers

Types of heat exchangers.

Design and performance evaluation.

Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) method.

ϵ -NTU method.

ψ -P method.

Solar Collectors.

Heat Pipes.

Heat Exchangers (Evaporators and Condensers) and Cooling Towers.

Positive-displacement and dynamic compressors for refrigeration systems.

Expansion valves for refrigeration systems.

Natural gas pipelines and chimneys.

Thermal Energy Systems

Heat Pumps.

Refrigeration and Cryogenic Systems

Refrigerants.

Inglese



General design criteria.
Refrigeration systems with flash chambers and ejectors.
Air-cycle refrigeration systems and aircraft refrigeration systems.
Transcritical refrigeration systems.
Combined cooling, heating, and power (trigeneration) systems.
Gas liquefaction systems.
Joule–Thomson effect.
Thermoelectric refrigeration systems: cooling effect, performance evaluation, irreversibility factor, and parameter optimization.
Absorption refrigeration systems.

Thermal Energy Storage Systems

Air Conditioning Systems

Design under summer operating conditions.

Solar Thermal Systems

Control Systems for Thermal Plants

On–off control.

Proportional control.

Integral control.

Automatic control of refrigeration systems (valves, operating behavior, and performance characteristics).

Introduction to thermoeconomics and exergoeconomics for the analysis of refrigeration systems.

Practical Sessions and Design Projects

Project 1

Thermofluid-dynamic simulations with second-law analysis.

Industrial heat-transfer applications: analytical, approximate, and numerical solution methods.

Project 2

Optimization and energetic, exergetic, and thermoeconomic analysis of a refrigeration system.

Modalità di valutazione

- ☐ Prova scritta
- ☒ Prova orale
- ☐ Valutazione in itinere
- ☒ Valutazione di progetto
- ☐ Valutazione di tirocinio
- ☐ Prova pratica
- ☐ Prova di laboratorio

Descrizione delle modalità e dei criteri di verifica dell'apprendimento

Italiano

La prova d'esame valuta la preparazione complessiva dello studente, la capacità di integrare le conoscenze provenienti dalle diverse parti del programma, la consequenzialità del ragionamento, la capacità analitica e l'autonomia di giudizio.



Inoltre, vengono valutate la proprietà di linguaggio e la chiarezza espositiva, in aderenza con i descrittori di Dublino: 1. Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding); 2. Capacità di applicare la conoscenza e comprensione (applying knowledge and understanding); 3. Autonomia di giudizio (making judgements); 4. Capacità di apprendimento (learning skills); 5. Abilità di comunicazione (communication skills). Il voto finale sarà rapportato per il 70% al grado di conoscenza e per il 30% alla capacità espressiva e di giudizio autonomo dimostrate dallo studente.

La verifica finale dell'apprendimento avviene tramite l'esame orale, volto a valutare il livello di preparazione dello studente e a mettere in evidenza le sue capacità di argomentare e di descrivere sia i temi trattati sia i progetti assegnati.

La consegna dei progetti prima della verifica orale è una condizione necessaria.

Il voto finale dell'esame viene assegnato in una scala di 30/30, con 18 come voto di superamento, secondo il seguente sistema di giudizio:

17 o meno, NON ADEGUATO: lo studente ha importanti carenze nella conoscenza e comprensione degli argomenti e capacità limitate di analisi e sintesi; fa frequenti generalizzazioni e ha limitate capacità critiche e di giudizio; espone gli argomenti in modo incoerente e con un linguaggio inappropriato.

18-20, lo studente ha sufficientemente acquisito i concetti di base della disciplina, ma possiede una capacità analitica che emerge solo con l'aiuto del docente. Il modo di esprimersi non segue sempre un linguaggio tecnico e appropriato.

21-24, lo studente ha acquisito discretamente i concetti di base della disciplina, sa orientarsi tra i vari argomenti trattati e possiede una capacità di analisi autonoma che sa esprimere con un linguaggio abbastanza corretto.

25-28, lo studente ha una buona conoscenza degli argomenti trattati ed è in grado di rielaborare autonomamente le conoscenze acquisite in termodinamica, scambio termico e termofluidodinamica, sapendo collegare gli argomenti nelle applicazioni richieste. Si esprime in un linguaggio corretto e rigoroso.

29, 30 e 30 e lode, lo studente possiede un livello di conoscenza completo e approfondito. I riferimenti culturali sono ricchi e aggiornati. Possiede ottime capacità di analisi e sintesi, nonché autonomia di giudizio. Si esprime con brillantezza e proprietà del linguaggio.

The examination is designed to assess the student's overall level of preparation, their ability to integrate knowledge acquired from the different parts of the course, the logical consistency of their reasoning, their analytical skills, and their capacity for independent judgement. In addition, particular attention is paid to the appropriate use of technical terminology and the clarity and effectiveness of oral communication, in accordance with the Dublin Descriptors: 1. Knowledge and Understanding; 2. Applying Knowledge and Understanding; 3. Making Judgements; 4. Learning Skills; 5. Communication Skills.

The final grade is determined by considering both the student's level of knowledge and understanding of the course contents and their ability to communicate, critically analyse, and independently evaluate engineering problems. Approximately 70% of the final assessment is based on the student's mastery of the subject matter, while the remaining 30% reflects their communication skills, analytical abilities, and capacity for independent judgement.

The final assessment consists of an oral examination to evaluate the student's level of preparation and ability to discuss and critically present both the theoretical topics covered in the course and the design projects developed throughout the semester.

Inglese



Submission of the project(s) prior to the oral examination is a mandatory requirement.

Final grades are awarded on a scale from 0 to 30, with 18/30 representing the minimum passing grade, according to the following criteria:

Fail (17/30 or below) – Inadequate

The student demonstrates significant deficiencies in knowledge and understanding of the course topics, together with limited analytical and synthesis skills. Critical thinking and independent judgement are weak, and arguments are often based on inappropriate generalisations. The presentation is unclear, inconsistent, and characterized by inadequate technical language.

18-20/30 – Satisfactory

The student demonstrates a sufficient understanding of the fundamental concepts of the discipline. Analytical skills are present but generally require guidance from the examiner. Technical terminology is used inconsistently, and the exposition may lack precision and rigor.

21-24/30 – Fair

The student demonstrates an adequate understanding of the main concepts of the discipline and is able to navigate the different topics addressed during the course. They show a reasonable degree of independent analytical ability and are capable of presenting their arguments using generally appropriate technical language.

25-28/30 – Good

The student demonstrates a solid understanding of the topics covered in the course and is able to independently elaborate and apply the knowledge acquired in thermodynamics, heat transfer, and thermofluid dynamics. They are capable of establishing connections among different topics and applying them to engineering problems. The exposition is clear, technically accurate, and rigorous.

29-30/30 and 30 cum laude – Excellent

The student demonstrates comprehensive and in-depth knowledge of all course topics. Their understanding is supported by extensive and up-to-date technical and scientific references. They exhibit excellent analytical and synthesis skills, as well as a high degree of independent judgement. Their presentation is particularly effective and precise, characterized by an excellent command of technical language and communication skills.



Testi adottati

Italiano

- Dispense fornite dai docenti
- F. Gori, Lezioni di Termodinamica, TEXMAT;
- Gori, Corasaniti, Petracchi, Lezioni di Termofluidodinamica, TEXMAT;
- F. Kreith, Principi di trasmissione del calore, Liguori Editore;

Inglese

- Lecture notes provided by the instructors.
- F. Gori, Lezioni di Termodinamica, TEXMAT;
- Gori, Corasaniti, Petracchi, Lezioni di Termofluidodinamica, TEXMAT;
- F. Kreith, Principi di trasmissione del calore, Liguori Editore;

Bibliografia di riferimento

Italiano

Testi Consigliati:

- Yunus A. Çengel, Termodinamica e trasmissione del calore, McGraw-Hill, 2022
- C. Bonacina, A. Cavallini, L. Mattarolo, Trasmissione del calore, CLEUP, 1985
- E. Bettanini, F. Brunello, Lezioni di impianti tecnici, vol. 1° e 2°, CLEUP, 1990
- Kreith, Manglik, Bohn, Principles of Heat Transfer, 2010-7ed.
- C. Pizzetti, Condizionamento dell'aria e refrigerazione, teoria e calcolo degli impianti, Masson Italia Editori, 1988.
- AA.VV, Manuale degli impianti di climatizzazione, Tecniche Nuove, 2008
- A. Bejan, Entropy Generation Minimization (EGM), CRC, 1996.
- A. Bejan, G. Tsatsaronis and M. Moran, Thermal Design and Optimization (TDO), Wiley, 1996
- A. Bejan, Advanced Engineering Thermodynamics, John Wiley & Sons, 2016

Inglese

Recommended References:

- Yunus A. Çengel, Termodinamica e trasmissione del calore, McGraw-Hill, 2022
- C. Bonacina, A. Cavallini, L. Mattarolo, Trasmissione del calore, CLEUP, 1985
- E. Bettanini, F. Brunello, Lezioni di impianti tecnici, vol. 1° e 2°, CLEUP, 1990
- Kreith, Manglik, Bohn, Principles of Heat Transfer, 2010-7ed.
- C. Pizzetti, Condizionamento dell'aria e refrigerazione, teoria e calcolo degli impianti, Masson Italia Editori, 1988.
- AA.VV, Manuale degli impianti di climatizzazione, Tecniche Nuove, 2008
- A. Bejan, Entropy Generation Minimization (EGM), CRC, 1996.
- A. Bejan, G. Tsatsaronis and M. Moran, Thermal Design and Optimization (TDO), Wiley, 1996
- A. Bejan, Advanced Engineering Thermodynamics, John Wiley & Sons, 2016



Modalità di svolgimento

- ☒ Modalità in presenza
☐ Modalità a distanza

Descrizione della modalità di svolgimento e metodi didattici adottati

Italiano

Il corso si articola in lezioni frontali tenute dai docenti.
L'attività didattica si avvale di diagrammi, tabelle, filmati e slide, finalizzati all'illustrazione degli argomenti trattati e delle relative applicazioni.
Nel corso del semestre sono previste sessioni dedicate alla revisione dei progetti assegnati, nonché visite didattiche presso impianti termotecnici di ambito industriale e civile.
Per ciascuna delle principali sezioni del programma vengono fornite dispense predisposte dai docenti.

Inglese

The course is primarily delivered through traditional face-to-face lectures conducted by the instructors.
The teaching activities make use of diagrams, tables, videos, and slides designed to illustrate the topics covered and their corresponding applications.
Throughout the semester, sessions dedicated to the review of the assigned projects are scheduled, together with educational visits to industrial and civil thermal engineering facilities.
For each of the main sections of the course syllabus, lecture notes prepared by the instructors are provided.

Modalità di frequenza

- ☒ Frequenza facoltativa
☐ Frequenza obbligatoria

Descrizione della modalità di frequenza

Italiano

Lezioni teoriche frontali in aula.
La frequenza, pur non obbligatoria, è fortemente consigliata per usufruire delle spiegazioni relative ai dubbi che emergono durante l'esposizione degli argomenti.

Inglese

Classroom-based lectures.
Attendance is not compulsory; however, it is strongly recommended, as it provides students with the opportunity to actively engage in discussions and receive clarification on questions that arise during lectures.