



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2023/2024
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2024/2025
CORSO DILAUREA	INGEGNERIA DELL'ENERGIA E DELLE FONTI RINNOVABILI
INSEGNAMENTO	ENERGETICA E MACCHINE
CODICE INSEGNAMENTO	18191
MODULI	Si
NUMERO DI MODULI	2
SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI	ING-IND/10, ING-IND/08
DOCENTE RESPONSABILE	BECCARI STEFANO Professore Associato Univ. di PALERMO
ALTRI DOCENTI	BECCARI STEFANO Professore Associato Univ. di PALERMO CATRINI PIETRO Ricercatore a tempo determinato Univ. di PALERMO
CFU	12
PROPEDEUTICITA'	
MUTUAZIONI	
ANNO DI CORSO	2
PERIODO DELLE LEZIONI	2° semestre
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	BECCARI STEFANO Lunedì 15:00 19:00 Ufficio docente CATRINI PIETRO Lunedì 12:00 13:00 Stanza T103, Edificio 9. Martedì 12:00 13:00 Stanza T103, Edificio 9. Mercoledì 12:00 13:00 Stanza T103, Edificio 9. Giovedì 12:00 13:00 Stanza T103, Edificio 9. Venerdì 12:00 13:00 Stanza T103, Edificio 9.

DOCENTE: Prof. STEFANO BECCARI

PREREQUISITI	Fondamenti di: chimica e chimica applicata, disegno di macchine, elettrotecnica, meccanica dei fluidi, termodinamica, trasmissione del calore.
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	Conoscenza e capacità di comprensione Lo studente, al termine del corso, avrà conoscenze adeguate per affrontare gli aspetti di base dei processi energetici che intervengono negli impianti civili ed industriali e delle problematiche inerenti il funzionamento teorico delle macchine a fluido e degli impianti relativi. La verifica verrà effettuata nel corso della prova scritta e/o orale. Capacità di applicare conoscenza e comprensione Lo studente, al termine del corso, avrà acquisito conoscenze e capacità di comprensione adeguate e professionalizzanti circa la caratterizzazione di macchine, impianti e processi industriali, potendone valutare le prestazioni e la relativa efficienza per affrontare le varie problematiche relative agli usi dell'energia. Inoltre sarà in grado di selezionare la macchina più opportuna tra le varie tipologie di macchina a fluido per applicarla a concreti casi ingegneristici. La verifica verrà effettuata nel corso della prova scritta e/o orale. Autonomia di giudizio Lo studente, al termine del corso, avrà acquisito adeguata capacità di giudizio in relazione alle tematiche di pertinenza dell'insegnamento, avendo maturato la capacità di ricavare i dati necessari anche autonomamente. La verifica verrà effettuata nel corso della prova scritta e/o orale. Abilità comunicative Lo studente sarà in grado di comunicare ad altri con competenza e proprietà formale di linguaggio in relazione alle tematiche di pertinenza dell'insegnamento. Lo studente acquisirà la capacità di comunicare ed esprimere problematiche inerenti l'oggetto del corso. La verifica verrà effettuata nel corso della prova scritta e/o orale. Capacità d'apprendimento Lo studente sarà in grado di affrontare in autonomia le problematiche relative alle tematiche di pertinenza dell'insegnamento per un prosieguo nello studio e nella professione. La verifica verrà effettuata nel corso della prova scritta e/o orale.
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	La valutazione viene effettuata tramite una prova orale e/o scritta sulle seguenti macroaree: Energetica: analisi energetica, sistemi per la produzione di potenza, sistemi di conversione energetica. Macchine: caratteristiche generali, turbomacchine, macchine volumetriche. Le prove scritte consistono nella risoluzione commentata di alcuni quesiti e/o esercizi numerici o teorici, anche con l'ausilio di strumenti informatici (durata max 3 h) per ciascun modulo. La prova orale è di 2 ÷ 3 domande aperte (durata max 30 min) per ciascun modulo. Obiettivo delle prove è la verifica delle conoscenze acquisite e della capacità di critica, elaborazione e comunicazione. La votazione finale è in trentesimi, eventualmente con lode. A) Eccellente (30-30 e lode): Ottima conoscenza dei contenuti didattici; gli studenti dovrebbero mostrare una elevata capacità di analisi e di sintesi e dovrebbero essere in grado di applicare le loro conoscenze per risolvere problemi di elevata complessità. B) Ottimo (27-29): Ottima conoscenza dei contenuti dell'insegnamento e di capacità di linguaggio; gli studenti dovrebbero mostrare capacità di analisi e di sintesi ed essere in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi di media e, in alcuni casi, anche di maggiore complessità. C) Buono (24- 26): Buona conoscenza dei contenuti di insegnamento e di capacità di linguaggio; gli studenti dovrebbero essere in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi di media complessità. D) Discreto (19-23): Media conoscenza dei contenuti di insegnamento, in alcuni casi limitata alle tematiche principali; accettabile capacità di linguaggio e di applicare le conoscenze acquisite in modo indipendente. E) Sufficiente (18): Minima conoscenza dei contenuti didattici, spesso limitata agli argomenti essenziali; modesta capacità di usare un linguaggio tecnico e di applicare le conoscenze acquisite in modo indipendente. F) Insufficiente (meno di 18): Non adeguata conoscenza dei contenuti essenziali dell'insegnamento. Molto scarsa o nessuna capacità di linguaggio e di applicare le conoscenze acquisite in modo indipendente.
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	L'insegnamento è strutturato in lezioni frontali a carattere teorico ed esercitazioni frontali applicative. Le esercitazioni sono esercizi numerici svolti in aula dal Docente e/o dagli studenti sotto la guida del Docente sui concetti teorici introdotti a lezione e connesse a tipiche applicazioni energetiche sia civili che industriali.

MODULO ENERGETICA

Prof. PIETRO CATRINI

TESTI CONSIGLIATI

Testi di riferimento/Textbook

1. Dispense del Docente, articoli e manuali distribuiti durante il corso.
2. T.J. Kotas, "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Paragon Publishing, 2012, EAN: 9781908341891.
3. Cucumo MA, Kaliakatsos D, Marinelli V, "Energetica", Pitagora Ed., 2006, ISBN 88-371-1625-X.
3. G. Lozza, "Turbine a Gas e Cicli Combinati", Esculapio Editore, 2020, ISBN 978-88-7488-934-1.
4. O. Acton, C. Caputo, "Impianti Motori", UTET, 1992, ISBN 88-02-04668-9.

Testi di utile consultazione/Useful books

- 1.F. Calise, M. Dentice D'Accadia, L. Vanoli, R. Vanoli, "Fondamenti di analisi exergetica", Giapeto Editore, Napoli, 2018, ISBN-10:8893260638, ISBN-13:978-8893260633
2. Negri Di Montenegro G, et al.: "Sistemi energetici e macchine a fluido" Vol. 1, Pitagora Ed. Bologna, 2009, ISBN 88-371-1761-2
3. Bianchi M, et al.: "Sistemi energetici - Complementi" Vol. 2, Pitagora Ed. Bologna, 2008, ISBN 88-371-1755-8
4. Bianchi M, et al.: "Sistemi energetici - Impatto ambientale" Vol. 3, Pitagora Ed. Bologna, 2008, ISBN 88-371-1754-X
5. Bejan A, Tsatsaronis G, Moran M: "Thermal design and optimization", J. Wiley, 1996, ISBN: 978-0-471-58467-4
6. Eastop TD, McConkey A, "Applied Thermodynamics for Engineering Technologists", 5th Ed., Pearson-Prentice Hall, 1993, ISBN-10: 9780582091931, ISBN-13: 978-05820919315.
7. Kirillin VA, Sycev VV, Seyndlin AE: "Termodinamica Tecnica", Ed. Riuniti/ MIR, 1980, ISBN-10: 8835920795 ISBN-13: 978-8835920793.
8. Kreith F, "Principles of Sustainable Energy Systems" 2nd Ed., CRC Press, 2013, ISBN-10: 9781466556966, ISBN-13:978-1466556966

TIPO DI ATTIVITA'	B
AMBITO	50299-Ingegneria energetica
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	96
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE	54

OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO

Il corso mira a fornire le basi dell'analisi energetica ed exergetica per l'ottimizzazione di componenti e sistemi energetici, sia tradizionali sia innovativi. Inoltre esso mira a fornire una panoramica dei vari cicli termodinamici utilizzati nel campo della produzione di potenza e della refrigerazione.

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
2	Prolusione al corso. Richiami di Fisica Tecnica.
4	Analisi entropica dei componenti e dei sistemi energetici. Teorema di Gouy-Stodola per il calcolo della perdita di capacità di lavoro e del lavoro minimo di "ristoro". Applicazione al caso dello scambio termico, espansione incontrollata e miscelazione di fluidi a diversa temperatura.
10	Exergia: analisi puntuale della definizione e delle proprietà. Exergia dei flussi di calore e del lavoro. Exergia dei flussi di materia (analisi delle diverse componenti: cinetica, gravitazionale, fisica e chimica). Bilancio Exergetico per sistemi aperti operanti in condizioni stazionarie. Analisi energetica ed exergetica dei componenti (Turbomacchine, Valvole di laminazione, Scambiatori di Calore e Caldaie). Calcolo del contenuto exergetico dei combustibili. Analisi exergetica dei cicli termodinamici diretti ed inversi. Analisi exergetica dei processi di raffreddamento e riscaldamento. Diagramma di Grassmann-Sankey. Cenni al calcolo del contenuto exergetico di sistemi chiusi.
6	Cicli diretti a Vapore. Metodi per l'incremento dell'efficienza termodinamica. Bilancio di massa e di energia per il ciclo Rankine rigenerativo. Cenni descrittivi dei principali componenti impiantistici: caldaia, turbine, pompe, scambiatori rigenerativi (miscelazione e superficie), degassatore, condensatore e torri evaporative. Analisi del layout tipico di un ciclo a vapore per centrale termoelettrica. Differenza tra cicli subcritici ed ipercritici.
6	Analisi del ciclo Brayton-Joule ideale. Calcolo del lavoro netto e dell'efficienza termodinamica, ed analisi al variare del rapporto di pressioni del ciclo. Analisi delle deviazioni del ciclo reale dall'ideale. Ciclo Brayton-Joule ideale rigenerativo. Ciclo Ericsson. Interrefrigerazione e Post-combustione: scelta della pressione ottimale, ed effetti sul lavoro netto e sull'efficienza termodinamica. Descrizione componenti degli impianti turbogas. Cenni agli impianti STIG e ISTIG.
3	Cenno ai Cicli diretti a vapore binari. Cicli Combinati Gas-Vapore: sviluppo del modello termodinamico. Descrizione del Generatore di Vapore a Recupero. Cenni sulla cogenerazione.

4	Macchine frigorifere ad Assorbimento. Descrizione delle trasformazioni termodinamiche e dei principali componenti. Diagrammi Pressione-Temperatura. Descrizione delle proprietà delle coppie "Acqua-Bromuro di Litio" ed "Ammoniaca-Acqua". Derivazione del COP ed analisi dei valori tipici del COP per macchine presenti sul mercato. Differenze tra macchine "directly fired" and "undirectly fired". Utilizzo razionale delle macchine frigorifere ad assorbimento e confronto con macchine frigorifere a compressione di vapore. Funzionamento della macchine ad assorbimento in modalità "pompa di calore" e "trasformatore di calore". Descrizione dei flussi di exergia scambiati dalle macchine ad assorbimento.
4	Cicli Frigoriferi Avanzati: cicli multi-stadio e cicli in cascata. Ciclo di Liquefazione Linde-Hampson.

ORE	Esercitazioni
3	Applicazioni numeriche sul bilancio entropico e Teorema di Gouy-Stodola.
5	Applicazione numeriche sull'analisi exergetica dei componenti e degli impianti.
2	Applicazione numerica sul ciclo Rankine rigenerativo
4	Applicazioni numeriche sul Ciclo Brayton-Joule.
1	Applicazione numerica sul ciclo combinato gas-vapore.

MODULO MACCHINE

Prof. STEFANO BECCARI

TESTI CONSIGLIATI

Testi di utile consultazione/Useful books

1. Dispense del Docente, distribuite durante il corso.
2. Beccari Alberto, "Macchine", CLUT Editore, 1993, ISBN: 9788879920339
3. Beccari Alberto, "Esercizi di macchine", CLUT Editore, 1986, ISBN: 9788879920438
4. G. Cornetti "Macchine termiche", Ed. Il Capitello, Torino, 1994, ISBN: 9788842672883
5. G. Cornetti "Macchine idrauliche", Ed. Il Capitello, Torino, 1994, ISBN: 9788842672876

TIPO DI ATTIVITA'	B
AMBITO	50299-Ingegneria energetica
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	96
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITA' DIDATTICHE ASSISTITE	54

OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO

Il corso mira a fornire le nozioni fondamentali sui criteri di progettazione, sul funzionamento e sulla scelta delle macchine a fluido, turbo e volumetriche, in base alle relative efficienze e prestazioni.

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
9	Introduzione allo studio delle macchine: classificazione macchine (turbo, volumetriche, alternative, rotative, assiali, centrifughe); sistemi aperti e chiusi; punto di vista lagrangiano ed euleriano; 1° Principio della Termodinamica: espressione lagrangiana, espressione euleriana, moto permanente; 2° Principio della Termodinamica, lavoro delle resistenze passive; evoluzioni politropiche; gas perfetto; diagrammi di rappresentazione: piano Gibbs (T,s), piano di Mollier (i,s), piano di Clapeyron (p,v); rendimento idraulico ed interno; grandezze totali; arresto isoentropico.
9	Turbopompe: Richiami di formule, teorema di Bernoulli; caratteristica manometrica della pompa; prevalenza; accoppiamento al circuito esterno: punto di funzionamento e stabilità; regolazione della pompa: strozzamento alla mandata, variazione di velocità angolare, riflusso; problemi di innesco ed avviamento; cavitazione e quota massima di installazione; pompe in parallelo ed in serie: calcolo della caratteristica equivalente; equazioni per il calcolo del funzionamento in similitudine.
9	Turbine idrauliche: Impianti motori idraulici per la produzione di energia elettrica: elementi principali dell'impianto (condotta forzata, organi della regolazione, turbina, alternatore); rendimenti caratteristici dell'impianto e potenze ottenibili; le tipologie di turbine idrauliche e la loro classificazione: triangoli delle velocità; rendimenti e potenze; caratteristiche di funzionamento e curve di regolazione, similitudine di funzionamento, scelta della macchina e diagramma di Balje.
9	Turbocompressori: lavoro interno e variazione del momento della quantità di moto: equazione di Eulero; turbocompressore centrifugo ed assiale: triangoli di velocità, lavoro e grado di reazione; turbocompressore centrifugo: caratteristica manometrica; triangoli di velocità; turbocompressore assiale: triangoli di velocità e grado di reazione; similitudine di funzionamento, mappe di funzionamento e scelta della macchina. punto di funzionamento di un turbocompressore e stabilità; regolazione di un turbocompressore: laminazione all'aspirazione, laminazione mandata, by-pass, variazione della velocità di rotazione, variazione dell'angolo di calettamento delle pale del diffusore e della girante.
9	Turbine a vapore: Le turbine a fluido comprimibile: triangoli delle velocità di stadi assiali ad azione e a reazione; condizioni ottime di funzionamento nel caso ideale e nel caso reale (dissipazioni per attrito fluidodinamico); rendimenti e potenze.
9	Motori alternativi a combustione interna: cicli termodinamici di riferimento (Otto, Diesel), ciclo indicato e pressione media indicata, rendimenti e consumo specifico, coefficiente di riempimento, potenza e pressione media effettiva, sovralimentazione, curve caratteristiche di funzionamento.