



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

|                                                  |                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DIPARTIMENTO                                     | Ingegneria                                                                                                      |
| ANNO ACCADEMICO OFFERTA                          | 2021/2022                                                                                                       |
| ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE                       | 2021/2022                                                                                                       |
| CORSO DILAUREA MAGISTRALE                        | INGEGNERIA ENERGETICA E NUCLEARE                                                                                |
| INSEGNAMENTO                                     | ANALISI DI SISTEMI ENERGETICI E TERMoeCONOMIA                                                                   |
| TIPO DI ATTIVITA'                                | B                                                                                                               |
| AMBITO                                           | 50367-Ingegneria energetica e nucleare                                                                          |
| CODICE INSEGNAMENTO                              | 18021                                                                                                           |
| SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI                 | ING-IND/10                                                                                                      |
| DOCENTE RESPONSABILE                             | PIACENTINO ANTONIO Professore Ordinario Univ. di PALERMO                                                        |
| ALTRI DOCENTI                                    |                                                                                                                 |
| CFU                                              | 9                                                                                                               |
| NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE    | 144                                                                                                             |
| NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA | 81                                                                                                              |
| PROPEDEUTICITA'                                  |                                                                                                                 |
| MUTUAZIONI                                       |                                                                                                                 |
| ANNO DI CORSO                                    | 1                                                                                                               |
| PERIODO DELLE LEZIONI                            | 1° semestre                                                                                                     |
| MODALITA' DI FREQUENZA                           | Facoltativa                                                                                                     |
| TIPO DI VALUTAZIONE                              | Voto in trentesimi                                                                                              |
| ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI             | <b>PIACENTINO ANTONIO</b><br>Lunedì 11:30 13:30 Stanza T121 - 1° piano Edificio n 9, Dipartimento di Ingegneria |

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PREREQUISITI</b>                      | Lo studente deve possedere adeguate conoscenze dei temi legati alla termodinamica ed allo scambio termico ed alle loro applicazioni tipiche della Fisica Tecnica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b> | <p>Conoscenza e capacita' di comprensione:<br/>Alla fine del corso, l'allievo avra' acquisito una comprensione dei principi dell'analisi e dell'ottimizzazione di sistemi energetici, dell'analisi exergetica generalizzata, dell'integrazione termica di processo e della termoeconomia.</p> <p>Capacita' di applicare conoscenza e comprensione:<br/>Lo studente sara' in grado di realizzare analisi energetiche, exergetiche e basilari analisi termoeconomiche per lay-outs semplificati di sistemi energetici semplici (come gli impianti di potenza e quelli frigoriferi) e per singoli componenti. Inoltre, lo studente sara' in grado di identificare margini di risparmio energetico conseguibili, in industrie energy-intensive, attraverso integrazione termica di processo</p> <p>Autonomia di giudizio:<br/>Lo studente sara' in grado di identificare, in piena autonomia e senza l'aiuto di alcun supporto esterno, le principali criticita' relative all'efficienza di processi di conversione dell'energia. Inoltre, lo studente sara' in grado di realizzare autonomamente analisi finalizzate alla minimizzazione dei costi energetici.</p> <p>Abilita' comunicative:<br/>Lo studente sara' in grado di discutere di opzioni impiantistiche di retrofit per sistemi energetici sia con esperti tecnici che con management industriale, grazie all'acquisizione di una comprensione approfondita dei margini di efficientamento termodinamico ed economico dei sistemi e del linguaggio tecnico specifico della materia.</p> <p>Capacita' d'apprendimento<br/>Lo studente potra' sviluppare una solida comprensione del potenziale applicativo del II Principio della Termodinamica e dell'analisi termoeconomica, ed acquisire sufficiente maturita' per consolidare ulteriormente tali competenze:<br/>a) sul campo, implementando a valle di un sufficiente studio degli specifici processi industriali, le sue capacita' di condurre ottimizzazioni dei sistemi energetici; b) nell'ambito di corsi teorici avanzati incentrati sull'ottimizzazione di progetto di impiantistica termotecnica attraverso tecniche sofisticate quali la "minimizzazione di generazione entropica" o il "Design of Experiments (DoE)".</p>                                                                                                                                           |
| <b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>    | <p>La valutazione avviene tramite una Prova Orale finale.<br/>Lo studente esaminando dovra' rispondere, nell'ambito del colloquio, ad un minimo di tre domande, sia aperte sia semi-strutturate, su tutte le parti oggetto del corso e secondo approcci proposti nel materiale distribuito e nei testi consigliati. Nell'ambito della prova puo' essere richiesta allo studente la risoluzione, al calcolatore, di elementari problemi di analisi di sistemi energetici volti ad accertare la capacita' di risoluzione di problemi pratici analoghi a quelli sviluppati in aula.</p> <p>La prova e' volta ad accertare il possesso delle competenze e delle conoscenze disciplinari previste dal corso, e tende a verificare la comprensione degli argomenti, la competenza interpretativa, le capacita' elaborative ed espositive e l'autonomia di giudizio nelle applicazioni concrete.</p> <p>La soglia della sufficienza sara' raggiunta quando lo studente mostri conoscenza e comprensione degli argomenti almeno nelle linee generali e abbia competenze applicative minime nel campo dell'analisi termodinamica e termoeconomica di sistemi energetici; lo studente dovra' altresì possedere sufficienti capacita' espositive ed argomentative, tali da consentire la trasmissione delle sue conoscenze all'esaminatore. Al di sotto di tale soglia, l'esame risultera' insufficiente.</p> <p>Il colloquio ha una durata di circa 40 minuti. La valutazione avviene in trentesimi.</p> <p>Valutazione Voto<br/>Esiti<br/>Eccellente 30 - 30 e lode: Ottima conoscenza degli argomenti, ottima proprieta' di linguaggio, buona capacita' analitica, lo studente e' in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti.<br/>Molto buono 26 - 29: Buona padronanza degli argomenti, piena proprieta' di linguaggio, lo studente e' in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti.<br/>Buono 24 - 25: Conoscenza di base dei principali argomenti, discreta proprieta' di linguaggio, con limitata capacita' di applicare autonomamente le conoscenze alla soluzione dei problemi proposti.<br/>Soddisfacente 21 - 23: Non ha piena padronanza degli argomenti principali dell'insegnamento ma ne possiede le conoscenze, soddisfacente proprieta' di linguaggio, scarsa capacita' di applicare autonomamente le conoscenze acquisite.</p> |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | Sufficiente 18 – 20: Minima conoscenza di base degli argomenti principali dell'insegnamento e del linguaggio tecnico, scarsissima capacita' di applicare autonomamente le conoscenze acquisite.<br>Insufficiente: Non possiede una conoscenza accettabile dei contenuti degli argomenti trattati nell'insegnamento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>OBIETTIVI FORMATIVI</b>            | Il corso si propone di fornire una rigorosa conoscenza e comprensione dei principi dell'energetica avanzata, dell'integrazione di processo e della termoeconomia, così da consentire allo studente di condurre analisi ed ottimizzazioni di sistemi energetici semplici e complessi. Inoltre, il corso è volto a far acquisire agli studenti alcune capacita' di base nell'uso di software specialistico per la simulazione e l'ottimizzazione di sistemi energetici; le esercitazioni numeriche sono pertanto concepite per assicurare che gli studenti siano in grado di applicare i principi acquisiti ad applicazioni e casi studio reali. |
| <b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b> | Lezioni ed esercitazioni numeriche.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>TESTI CONSIGLIATI</b>              | <p>* A. Piacentino: Note, slides e scripts di software messi a disposizione dal Docente.</p> <p>Altri testi per approfondimento:</p> <p>* A. Bejan: Advanced Engineering Thermodynamics, 4th Edition. Wiley, 2016, Print ISBN: 9781119052098, Online ISBN: 9781119245964.</p> <p>* I. Kemp: Pinch Analysis and Process Integration, 2nd Edition. Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2007, Print ISBN: 9780750682602, ebook ISBN: 9780080468266.</p> <p>* F-Chart: Engineering Equation Solver Manual (free pdf available online), no ISBN available.</p>                                                                                         |

### PROGRAMMA

| ORE | Lezioni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6   | Fondamenti di economia per ingegneri: flussi di cassa per interventi ed investimenti nel settore energetico, flussi di cassa differenziali, inflazione e tassi di interesse, analisi in moneta costante e variabile, Valore Attuale Netto, Payback Time semplice ed attualizzato, Tasso Interno di Rendimento, Mutui per investimento                                                                                                                                                           |
| 8   | Ottimizzazione di sistemi energetici: sintesi, design e gestione. Variabili di progetto e gestione, vincoli, funzioni obiettivo. Ottimizzazione multiobiettivo, frontiera ottima di Pareto e metodi per ottenerla, elementi di Mathematical Programming                                                                                                                                                                                                                                         |
| 12  | Elementi di analisi exergetica: exergia associata a deflussi stazionari e flussi termici, analisi exergetica generalizzata, applicazione agli impianti di potenza e di refrigerazione, exergia chimica di soluzioni ideali, processi di separazione termica (esempio: dissalazione) e lavoro minimo teorico di separazione, miscele aria-vapore (per applicazioni di condizionamento ambientale)                                                                                                |
| 6   | Analisi energetica e modellizzazione di processi di dissalazione ad alimentazione termica: sistemi a Distillazione ad Effetti Multipli - Tipologie di retrofit cogenerativo per impianti MED e fondamenti dei criteri di riconoscimento della cogenerazione ad alta efficienza per impianti "a beta non nullo"                                                                                                                                                                                  |
| 10  | Integrazione termica di processo e reti di scambiatori di calore: formazione della base di dati, curve composite, metodo del "Table Problem" e curva "Grand Composite", regole auree per la pinch analisi e progetto della rete di massimo recupero energetico, note sul targeting multiplo (minima area di scambio e minimo numero di scambiatori di calore), modellizzazione semplificata di scambiatori di calore, cenni sull'estensione alle reti di recupero di massa ed effluenti acquosi |
| 6   | Fondamenti di Termoeconomia: costi ed exergy-costing, confronto tra allocazione dei costi sulla base dei flussi energetici ed exergetici, livelli di aggregazione nella modellizzazione d'impianto                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 14  | Teoria del Costo Exergetico, Exergoeconomia simbolica, Rappresentazione Fuel-Prodotti-Residui di un sistema energetico, Struttura Produttiva, Principio di non-equivalenza delle irreversibilita                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 4   | Diagnosi termoeconomica di malfunzionamenti: esempio applicativo per un impianto turbogas e prospettive per la diagnosi di sistemi di refrigerazione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| ORE | Esercitazioni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 5   | Ottimizzazione assistita da calcolatore dell'impianto a gas cogenerativo denominato "CGAM" - Determinazione, assistita da calcolatore, della frontiera di Pareto per un sistema di cogenerazione - Analisi di trade-off elementari per una macchina a ciclo inverso                                                                                                                                                                                                                             |
| 3   | Analisi energetica ed exergetica, assistita da calcolatore, di un impianto "dual purpose" per produzione di potenza ed acqua dissalata                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3   | Applicazione dell'integrazione termica di processo alla sintesi di una semplice rete di scambiatori di calore                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4   | Applicazioni dell'exergoeconomia semplificata (costo per singoli flussi materiali), della Teoria del Costo Exergetico e dell'Exergoeconomia Simbolica ad un ciclo a vapore                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |