



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

<b>DIPARTIMENTO</b>	Ingegneria
<b>ANNO ACCADEMICO OFFERTA</b>	2023/2024
<b>ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE</b>	2024/2025
<b>CORSO DILAUREA MAGISTRALE</b>	INGEGNERIA ELETTRICA
<b>INSEGNAMENTO</b>	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E MERCATO ELETTRICO
<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	B
<b>AMBITO</b>	50363-Ingegneria elettrica
<b>CODICE INSEGNAMENTO</b>	22274
<b>SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI</b>	ING-IND/33
<b>DOCENTE RESPONSABILE</b>	DI SILVESTRE MARIA Professore Associato Univ. di PALERMO LUISA
<b>ALTRI DOCENTI</b>	
<b>CFU</b>	9
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	144
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA</b>	81
<b>PROPEDEUTICITA'</b>	
<b>MUTUAZIONI</b>	
<b>ANNO DI CORSO</b>	2
<b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>	1° semestre
<b>MODALITA' DI FREQUENZA</b>	Facoltativa
<b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>	Voto in trentesimi
<b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>	<b>DI SILVESTRE MARIA LUISA</b> Martedì 11:00 12:00 + Qualunque giorno e orario compatibile con gli impegni istituzionali, previo appuntamento telefonico o via mail. LUOGO: Stanza di lavoro U207, Edificio 9, Il piano. Room U207, Edificio 9, 2nd floor. Appointment is needed by telephone or e-mail.

DOCENTE: Prof.ssa MARIA LUISA DI SILVESTRE

<b>PREREQUISITI</b>	Conoscenze di: - fisica tecnica, con particolare riferimento ai principali cicli termodinamici ed ai processi di trasmissione del calore; - macchine elettriche, con particolare riferimento alle caratteristiche costruttive ed ai principi di funzionamento del trasformatore e delle macchine sincrona e asincrona ed ai relativi guasti; - impianti elettrici, con particolare riferimento a: guasti, correnti di corto circuito, criteri di protezione.
<b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b>	<b>CONOSCENZA E CAPACITA' DI COMPrensIONE.</b> Lo studente al termine del corso avra' acquisito conoscenze e capacita' di comprensione dei vari aspetti, riguardanti: - produzione di energia elettrica da fonti fossili tradizionali (carbone, olio combustibile, gas) e dalla fonte idraulica, - evoluzione del sistema elettrico correlata alle politiche adottate per il contrasto dei cambiamenti climatici, - considerazioni di tipo economico, ambientale e sociale, - struttura, gestione e della protezione dei relativi impianti.  Per il raggiungimento di questi obiettivi il corso prevede lezioni frontali ed esercitazioni guidate (con analisi di casi studio). La verifica di questi obiettivi e' prevista all'interno della prova orale.  <b>CAPACITA' DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE.</b> Lo studente al termine del corso sara' in grado di applicare le proprie conoscenze e la propria comprensione per identificare le maggiori problematiche legate alla produzione centralizzata di energia elettrica, sotto il profilo termodinamico ed elettrico, individuando connessioni anche con argomenti trattati in altri corsi. Per il raggiungimento di questi obiettivi il corso prevede lezioni frontali, discussione di casi studio ed esercitazioni guidate. La verifica di questi obiettivi e' prevista all'interno della prova orale.  <b>AUTONOMIA DI GIUDIZIO.</b> Lo studente al termine del corso avra' acquisito la capacita' di raccogliere ed interpretare i dati necessari alla individuazione ed all'analisi delle principali problematiche correlate alla conversione in energia elettrica da altre forme primarie di energia. Per il raggiungimento di questi obiettivi il corso prevede lezioni frontali e discussione di casi studio attraverso cui stimolare lo studente alla formazione di giudizi autonomi. La verifica di questi obiettivi e' prevista all'interno della prova orale.  <b>ABILITA' COMUNICATIVE.</b> Lo studente al termine del corso avra' acquisito la capacita' di comunicare con competenza, coerenza e proprieta' di linguaggio sulle diverse tematiche e problematiche relative alla produzione di energia elettrica, sapendo correlarle anche con argomenti trattati in altri corsi; inoltre sara' in grado di interloquire con professionisti di altri settori dell'ingegneria, evidenziando problemi e prospettando soluzioni. Per il raggiungimento di questi obiettivi il corso prevede lezioni frontali e discussione di casi studio, ponendo l'accento in modo particolare sulle modalita' di presentazione ed esposizione degli argomenti trattati. La verifica di questi obiettivi e' prevista all'interno della prova orale.  <b>CAPACITA' D'APPRENDIMENTO.</b> Lo studente al termine del corso avra' acquisito consapevolezza non solo sugli aspetti legati alle tematiche specifiche di tipo tecnico-ingegneristico relative alla produzione di energia elettrica, ma anche su aspetti di piu' ampia portata quali economici, ambientali e sociali. Avra' acquisito consapevolezza anche e soprattutto sulla necessita' di operare sempre e comunque uno studio continuo ed autonomo, che riguarderà anche tutto l'arco della vita professionale, a causa della costante evoluzione normativa e legislativa e del progresso tecnico e tecnologico. Sara' in grado, pertanto, di proseguire gli studi ingegneristici con maggiore autonomia, consapevolezza e discernimento. Per il raggiungimento di questi obiettivi il corso prevede lezioni frontali e discussione di casi studio. La verifica di questi obiettivi e' prevista all'interno della prova orale.
<b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>	La verifica dell'apprendimento viene eseguita mediante un esame consistente in una unica prova orale. Tale prova consiste in un colloquio durante il quale lo studente dovra' rispondere ad alcune domande a risposta aperta (generalmente tre o quattro) sull'intero programma del corso svolto. La prova e' finalizzata ad accertare: - grado di conoscenza e comprensione dei contenuti dell'insegnamento; - capacita' di applicare le conoscenze acquisite, con competenza, coerenza,

	<p>efficacia ed autonomia di giudizio, alla risoluzione di problematiche o ad applicazioni inerenti all'insegnamento e/o ad esso correlate.</p> <p>- chiarezza espositiva e di argomentazione e proprietà di linguaggio; capacità di rielaborare conoscenze e competenze acquisite e di orientarsi in modo autonomo e critico in contesti disciplinari e interdisciplinari correlati al corso. La valutazione è espressa in trentesimi sulla base dei risultati complessivi raggiunti, secondo lo schema sotto riportato:</p> <p>- 28-30/30 e lode</p> <p>Ottima/eccellente conoscenza e padronanza dei contenuti del corso, declinati in assenza di errori o con autonome integrazioni e correzioni di imprecisioni; rigore metodologico nella impostazione delle risposte fornite; eccellente chiarezza e proprietà di linguaggio; soluzioni complete e argomentazioni articolate da cui traspare una piena capacità di orientarsi autonomamente e formulare giudizi in ambito disciplinare/interdisciplinari.</p> <p>- 24-27</p> <p>Soddisfacente/buona conoscenza e padronanza dei contenuti del corso, declinate con alcuni errori od omissioni con correzioni ed integrazioni parzialmente guidate dal docente; adeguata chiarezza espositiva e sostanzialmente corretta proprietà di linguaggio; soddisfacente/buona capacità di analisi autonoma e coerenza nel collegare i concetti e nell'orientarsi nell'ambito disciplinare o in quelli ad esso correlati.</p> <p>- 18-23</p> <p>Sufficiente/discreta conoscenza e padronanza dei contenuti del corso, declinate con errori od omissioni non eccessivamente gravi; sufficiente chiarezza espositiva e proprietà di linguaggio; risposte complessivamente adeguate ma caratterizzate da limitata autonomia ed efficacia; accettabile coerenza nell'orientarsi e nel collegare i concetti in ambito disciplinare, sebbene in modo incerto e guidato.</p> <p>- inferiore a 18</p> <p>Risultati di apprendimento minimi previsti non raggiunti. Conoscenza e padronanza degli argomenti insufficienti, molti errori, inesattezze o gravi lacune; carenti capacità espositive e di argomentazione, scarsa chiarezza ed inadeguata proprietà di linguaggio; insufficiente capacità di analisi e di risoluzione accettabile dei problemi posti, mancanza di autonomia nell'approccio metodologico, incapacità di orientarsi autonomamente in contesti disciplinari ed interdisciplinari.</p>
<b>OBIETTIVI FORMATIVI</b>	<p>Obiettivo dell'insegnamento è quello di far acquisire allo studente le conoscenze e le competenze relative alle modalità di produzione centralizzata dell'energia elettrica da fonte tradizionale (carbone, olio combustibile, gas) e da fonte idraulica, nonché quelle necessarie a riconoscere e risolvere le problematiche generali della produzione di energia elettrica, della gestione e della protezione dei relativi impianti.</p> <p>Ulteriore obiettivo è quello di far acquisire la consapevolezza circa la necessità di operare uno studio continuo ed autonomo durante tutto l'arco della futura attività professionale, a causa della costante evoluzione normativa e legislativa e del progresso tecnico e tecnologico.</p>
<b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b>	<p>Il corso prevede lezioni frontali, analisi e discussione di esempi e casi studio. Le attività didattiche sono organizzate in modo da agevolare il raggiungimento degli obiettivi formativi e dei risultati di apprendimento attesi. Il corso è caratterizzato da contenuti teorici e aspetti pratici; si cerca di stimolare la partecipazione degli studenti prevedendo lezioni interattive, in cui si privilegiano non solo le connessioni tra argomenti dello stesso corso, ma anche quelli interdisciplinari; durante le esercitazioni e la discussione di casi di studio, lo studente è incoraggiato ad analizzare criticamente le questioni proposte sviluppando le proprie capacità di analisi, di valutazione autonoma, di comunicazione, di argomentazione e di uso del linguaggio, essendo chiamato a confrontarsi con il professore e con gli altri studenti.</p>
<b>TESTI CONSIGLIATI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiale didattico distribuito dal docente durante il corso.</li> <li>- Zanchi: Centrali elettriche – Vol. I, II, III - Tamburini Editore</li> <li>- Rova: Centrali elettriche”- CLEUP</li> <li>- Battaglia: Metodi di previsione statistica– Springer Verlag Italia</li> <li>- El-Wakil: Power plant technology – McGraw-Hill</li> <li>- Drbal: Power plant engineering– Chapman &amp; Hall</li> <li>- R. Caldon, F. Bignucolo: Impianti di produzione dell'energia elettrica. Criteri di scelta edimensionamento- Società editrice Esculapio</li> <li>- M. Tanzini: Impianti idroelettrici. Progettazione e costruzione-Dario Flaccovio Editore</li> <li>- G. Evangelisti: Impianti Idroelettrici Vol. I (ISBN: 885550200X -9788855502009): -Vol. II (ISBN:88-555-0201-8 -9788855502016). Pàtron</li> <li>- G. Lozza: Turbine a gas - Società editrice Esculapio (ISBN: 978-88-7488-934-1).</li> </ul>

## PROGRAMMA

ORE	Lezioni
5	Introduzione al corso a alle Centrali Elettriche. Presentazione argomenti trattati, obiettivi, modalita' svolgimento esami, testi di riferimento. Fabbisogno energetico e ruolo della produzione elettrica: evoluzione dei consumi e sfruttamento delle fonti primarie nel mondo, in Europa, in Italia. (Evoluzione del sistema elettrico: integrazione produzione centralizzata e generazione distribuita). Gli impegni europei e italiani per il contrasto dei cambiamenti climatici. Scenari di sviluppo.
6	Pianificazione della produzione di energia elettrica: definizioni e generalità; programmazione strategica ed esecutiva; gestione: esercizio a lungo, medio e breve termine; esercizio istantaneo. Brevi richiami su analisi dei diagrammi di carico: grandezze caratteristiche. Previsione dei fabbisogni annui di energia elettrica: metodi classici estrapolativi e regressivi: funzioni analitiche esponenziale, logistica, polinomiale, di adattamento all'analisi dei dati delle serie storiche; adattamento con il metodo dei minimi scarti quadratici. Suddivisione dell'energia annua prevista su periodi inferiori: previsione del ddc giornaliero; coefficienti giornalieri e di stagionalità; previsione dei picchi di potenza con metodo indiretto e con metodo diretto: estrapolazione semplice, estrapolazioni separate.
5	Centrali di base: considerazioni generale su costi di produzione dell'energia e copertura del diagramma di carico. Servizi di base, modulazione, di punta. Servizi di black start. Servizi di riserva.
9	Il mercato elettrico - Richiami su articolazione, organizzazione, funzionamento del mercato elettrico; evoluzione normativa e legislativa; gli attori. Il ruolo delle Unità di Produzione nel mercato dei servizi di dispacciamento (MSD). Gli orientamenti europei e nazionali. Evoluzione del sistema elettrico e apertura del mercato dei servizi a nuove risorse (risorse distribuite, sistemi di accumulo, domanda).
14	Centrali idroelettriche - Generalita' e principio di funzionamento. Classificazioni. Bacino imbrifero. Analisi dei regimi pluviometrici: continentale, sublitoraneo, mediterraneo. Bacini: glaciali, pluviali, nivopluviali. Caratteristica idrodinamica di un corso d'acqua: curva di frequenza delle portate; funzione densita' di probabilita', curva di durata. Coefficiente di utilizzazione di un corso d'acqua, coefficiente di utilizzazione dell'impianto. Portata massima derivabile. Regolazione dei deflussi: curve integrali degli afflussi naturali e dei deflussi regolati. Determinazione del volume del serbatoio nel caso di regolazione totale di un bacino, per fissata curva di regolazione e per assegnato volume del serbatoio. Regolazione parziale di un bacino. Sbarramenti: diga a gravita' massiccia ed alleggerita, diga a volta, diga a speroni; traverse mobili e fisse, organi di presa, organi sghiaiatori, organi dissabbiatori. Canale derivatore. Vasca di carico. Pozzo piezometrico. Condotta forzata. Cenni sul colpo d'ariete e oscillazioni di massa. Turbine Pelton, Kaplan e Francis: caratteristiche e criteri di scelta. Impianti di pompaggio (classificazioni; servizi statici e dinamici forniti; configurazioni tipiche di impianto; avviamento dei gruppi ternari ei binari).
12	Centrali termoelettriche – Tipologie, classificazione, indicazioni di massima su taglie, costi, flessibilita' di marcia. Ciclo di Carnot. Ciclo Rankine – Clausius. Ciclo Hirn. Influenza sul rendimento della pressione allo scarico e dei parametri iniziali. Cicli a pressione ipercritica. Ciclo a risurriscaldamento. Determinazione della pressione di risurriscaldamento. Cicli a rigenerazione continua. Cicli rigenerativi a uno e piu' spillamenti: rendimento e scelta delle pressioni di spillamento. Cicli con rigeneratori a superficie e a miscela. Schemi di impianto. Ciclo combustibile o ciclo aria-fumi. Fenomeno della combustione. Tipologie e caratteristiche dei combustibili; eccesso d'aria. fenomeni di incrostazioni e corrosioni ad alta e bassa temperatura; trattamento del combustibile prima dell'avvio ai bruciatori; caratteristiche dei bruciatori. Scambiatore Ljungstrom. Filtri meccanici ed elettrostatici. Tiraggio soffiato, aspirato e bilanciato. Ciclo dell'acqua di alimento. Generatore di vapore. Meccanismi di scambio termico tra fumi e fluido lavorante. Temperatura media dei tubi. Surriscaldatori irraggiati e convettivi. Disposizione delle sezioni in equicorrente o in controcorrente. Tubi attemperatori. Dimensionamento dello spessore delle tubazioni. Tipologie di caldaia: a circolazione naturale, a circolazione assistita e ad attraversamento (Sulzer, Benson). Problemi di instabilita' di marcia ai bassi carichi e fenomeni di instabilità nella circolazione dell'acqua nelle caldaie ad attraversamento. Turbine a vapore: ad azione ed a reazione; configurazione Tandem e configurazione compound. Scambiatori rigenerativi. Degasatore. Ciclo dell'acqua di condensazione. Torri di refrigerazione umide ed a secco.
7	Centrali con turbine a gas – Principio di funzionamento e classificazioni. Ciclo chiuso semplice: rendimento e lavoro massico. Ciclo aperto semplice: andamenti del rendimento e del lavoro massico. Ciclo aperto semplice reale. Condizione di autosufficienza del ciclo reale semplice. Rendimento e lavoro massico del ciclo reale semplice. Ciclo ideale e reale a compressione interrefrigerata: rendimento e lavoro massico. Ciclo ideale e reale con ricombustione. Cicli rigenerativi. Rigenerazione totale e parziale: rendimento. Ciclo con interrefrigerazione, ricombustione e rigenerazione. Ciclo Ericsson. Centrali con ciclo combinato – Principio di funzionamento generale. Ciclo fired ed unfired. Cicli combinati a singolo livello di pressione, a due livelli di pressione ed a tre livelli di pressione con e senza risurriscaldamento. Ripotenziamento di centrali esistenti per recupero termico dei gas di scarico con preriscaldamento dell'acqua di alimento; con recupero termico dei gas di scarico per produrre vapore MP; con ricombustione in caldaia; con trasformazione in ciclo combinato.
7	Servizi Ausiliari di centrale. Alternatore: limiti di prestazione (curva di Capabilità); sistemi di raffreddamento; stato del neutro in esercizio. Sistemi di protezione delle macchine elettriche di centrale (alternatore e trasformatore) contro i guasti interni (guasti verso massa, tra fasi differenti, tra spire della stessa fase) e i guasti esterni (protezione distanziometrica).
9	Stazioni elettriche – Caratteristiche e funzioni. Schemi (a singola sbarra principale; a singola sbarra principale e sbarra di traslazione; a doppio sistema di sbarre principali: schema classico, duplex, ad H, ad H modificato, ad un interruttore e mezzo per montante; ad anello). Regole tecniche per la connessione alla RTN; schemi di principio per il collegamento; protezioni.

ORE	Esercitazioni
7	Focus e casi studio su: -Previsione del diagramma di carico. -Focus sul disastro del Vajont. Determinazione della portata derivata per centrale ad acqua fluente e scelta delle turbine. -Calcolo rendimento bilancio consumi per centrale con ciclo Hirn semplice, con RH, con RH e spillamento. Focus su centrale termoelettrica a risurriscaldamento con ciclo di rigenerazione a 7spillamenti. Calcolo del consumo specifico e del rendimento -Dimensionamento dei fasci tubieri del condensatore di una centrale TE -Determinazione del rendimento di una centrale elettrica a ciclo combinato