



UNIVERSITÀ DI PISA

SISTEMI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

STEFANO BARSALI

Academic year	2020/21
Course	INGEGNERIA ENERGETICA
Code	793II
Credits	6

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
SISTEMI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA	ING-IND/33	LEZIONI	60	STEFANO BARSALI

Programma (contenuti dell'insegnamento)

Fonti primarie di energia. Risorse e riserve. Fonti rinnovabili: solare, eolica, idraulica, geotermica, biomasse; sviluppo della produzione elettrica da ciascuna fonte, situazione italiana. Combustibili fossili: caratteristiche, risorse e riserve, petrolio, carbone, gas naturale; costi di produzione e stime delle riserve. Bilancio energetico. Criteri di confronto delle fonti. Consumi elettrici. Caratterizzazione: indice di penetrazione elettrica, intensità elettrica, PIL e domanda elettrica. Bilancio elettrico: bilanci elettrici storici italiani, bilancio elettrico mondiale. Copertura del fabbisogno elettrico nei diversi paesi, evoluzione della produzione elettrica europea. Copertura dei diagrammi di carico. Definizione dei servizi di rete e codice di rete. Servizi di rete e impianti di produzione. Impatto delle fonti rinnovabili sulla regolazione di rete.

Esemplificazione del comportamento degli impianti di produzione in occasione di grosse perturbazioni di rete. Analisi degli eventi di black out del 2003 in Italia e all'estero. Esigenze di regolazione. Approccio probabilistico ai criteri di gestione della portata delle linee elettriche

Impianti termoelettrici: Cicli termodinamici: Metodi d'approccio: ambientale, economico, ingegneristico; Funzioni di stato termodinamico e diagramma T-s; Trasformazioni termodinamiche: sistemi chiusi; Ciclo termodinamico e rendimento; Ciclo di Carnot e ciclo di Rankine;

Rendimento dei cicli reali; Verifiche di rendimento da bilancio termico, metodo diretto e indiretto; Trasformazioni termodinamiche: sistemi aperti. Ciclo rigenerativo: condensatore a superficie, portata di raffreddamento, opere di presa, calcolo della superficie e del vuoto. Circuito acqua-vapore: Caldaia a corpo cilindrico, internals del Corpo cilindrico, anello di circolazione, circolazione assistita. Caldaia ad attraversamento forzato: dinamica dell'evaporatore, instabilità di condotti paralleli. Caldaia UP: lay out, Profili di temperatura fumi, scambio termico nei banchi, dinamica nei banchi, materiali e avarie.

Combustione: bruciatori frontale e tangenziali Controllo delle emissioni: interventi primari: de-nox; staging, bruciatori low-nox. Costo combustibile e prezzo di vendita, Circuito aria-gas: ventilatori prementi e azionamenti, Caldaia a pressione bilanciata, ricircolo gas, pre-riscaldatori. Impianti di trattamento fumi: impianto de-NOx catalitico, impianto de-SOx, de-polverizzatori.

Turbine a vapore: triangoli di velocità, pressioni negli stadi, gestione di apertura delle valvole, rendimento, gestione delle espansioni, modulazione delle portate, rendimenti di espansione, temperature, fatica oligociclica, sollecitazioni, risonanze, esercizio flessibile e costi. Ciclo rigenerativo: condensatore a superficie, portata di raffreddamento, opere di presa, calcolo della superficie e del vuoto. Torre di evaporazione. Pre-riscaldatori BP e AP, degasatore a miscela, calore ceduto all'acqua. Pompa acqua alimento, funzionamento e regolazione velocità, sistemi trattamento e condizionamento acqua.

Ciclo rigenerativo: condensatore a superficie, portata di raffreddamento, opere di presa, calcolo della superficie e del vuoto. Torre di evaporazione. Pre-riscaldatori BP e AP, degasatore a miscela, calore ceduto all'acqua. Cenno all'Heat release computer.

Impianti turbogas in ciclo semplice: rendimenti, turbogas di prima, seconda e terza generazione, rapporto di compressione ottimo, raffreddamento turbina, controllo delle emissioni, effetto delle condizioni esterne, problemi di stallo del compressore, avviamento, regolazione potenza e temperatura, partecipazione alla regolazione di rete, load rejection, caratteristiche turbine commerciali. Cicli combinati: criteri di scelta generali, struttura GVR, impianti di cogenerazione, caratteristiche, configurazioni e layout, partecipazione alla regolazione, regolazione di potenza e temperatura, gestione in emergenza e riavviamento. Schemi di impianti repowering con turbogas.

Energia geotermica: le principali aree del mondo, dell'Italia e della Toscana. I sistemi idrotermali e rocce calde secche. Campi geotermici ad acqua dominante e a vapore dominante, caratteristiche del fluido. Classificazione dei fluidi geotermici. Impianti geotermoelettrici: Ciclo di utilizzazione dei fluidi. i principali schemi di funzionamento della centrale, contropressione, condensazione e ciclo binario. Soluzioni adottate in relazione alle caratteristiche del fluido. Consumo specifico di vapore, grado di utilizzazione della risorsa. Studio di riconoscimento geotermico, Studio di prefattibilità, Studio di fattibilità. Progetto di sviluppo. Potenzialità del campo, numero ed ubicazione dei pozzi da perforare, numero delle postazioni, stima dell'energia producibile nella vita della centrale. Valutazione economica dell'investimento. Gli impianti minerali e di superficie. La perforazione dei pozzi con impianti a tavola rotary, il cantiere, gli impianti, il profilo del pozzo. Aspetti tecnico economici relativi alla costruzione e gestione di impianti geotermoelettrici. Gli usi diretti dell'energia geotermica: convenienza della produzione di energia elettrica e dell'uso diretto; possibili forme di utilizzazione diretta.

Impianti idroelettrici: le risorse idriche, curva idrodinamica, diagramma cronologico e curva di durata delle portate. Definizioni. Diagrammi di durata della portata salto potenza ecc. per un impianto ad acqua fluente. Diagrammi di regolazione degli impianti a serbatoio. Le traverse e le opere di presa. Le opere di presa, le traverse, le dighe classificazione costruttiva e normativa. Opere di trasporto criteri per il dimensionamento ottimale. Condotte forzate classificazione calcolo del diametro di massima convenienza. La teoria dell'Allievi, celerità ritmo sovrappressioni.

Centrale idroelettrica: dispositivi di chiusura, regolatori di livello, limitatori di pressione, accumulatori, regolatori di pressione. Dimensionamento del pozzo piezometrico. Suddivisione funzionale ed architettonica. La turbina idraulica: rendimento, numero di giri caratteristico, le pelton,



UNIVERSITÀ DI PISA

francis, kaplan, elica ed a bulbo. Campo di impiego. Criteri di scelta della turbina
Cenni ai componenti elettrici di centrale: Montante di macchina (rigido e flessibile). Turboalternatori: sviluppo, sistemi di raffreddamento.
Alternatori per impianti idraulici. Sistemi di eccitazione. Trasformatori. Condotti sbarre. Regolazione della tensione. Curve di capability. Schemi di connessione con la rete. Schemi di alimentazione dei servizi ausiliari. Protezioni elettriche
Caratteristiche dinamiche impianti turbogas e cicli combinati e dei loro sistemi di regolazione: regolazione di velocità, di temperatura e di limitazione di temperatura. Modellazione impianto turbogas. Schema regolazione Ansaldo e modello di Rowen. Modellazione impianto turbogas in Matlab/Simulink. Effetto delle limitazioni di temperatura sulla risposta dinamica in rete interconnessa. Simulazione del funzionamento in isola ed effetto delle limitazioni di temperatura sulla risposta dinamica in isola.
Modello dinamico di impianto a vapore: ipotesi fondamentali ed equazioni descrittive dell'evaporatore; stima della costante di tempo dell'evaporatore; modellazione banchi SH e RH; stima della costante di tempo dell'RH; modellazione turbine; regolatore di velocità.
Implementazione modello impianto a vapore in Matlab/Simulink. Simulazione impianto non regolato in rete interconnessa. Simulazione impianto con sola regolazione di velocità in rete isolata. Sistemi di regolazione in turbina segue e caldaia segue. Simulazione impianto a vapore in regolazione di velocità e in regolazione caldaia segue. Identificazione delle funzioni di trasferimento modello interagente. Introduzione alla regolazione coordinata. Imposizione della non interazione. Sintesi del regolatore non interagente. Regolatore di pressione e regolatore di carico. Regolazione coordinata, verifica non interazione. Frequency bias e Integratore Locale di Frequenza

Ultimo aggiornamento 18/09/2020 16:55