01/03/2010

Esercizio ed economia dei sistemi elettrici utilizzatori
prof Paolo Pelacchi - DSEA - 050 -
materiale didattico: slide del docente disponibili sul sito
modalità d'esame: prova orale integrata con primo modulo

Richiami di centrali elettriche
Le centrali elettriche hanno il compito di convertire energia primaria in energia elettrica, che può essere trasportata meglio. Si distinguono in base alla fonte di energia primaria utilizzata: termoelettriche convenzionali e nucleari, idroelettriche, geotermoelettriche, da fonti rinnovabili (eolico, fotovoltaico).
Tra le termoelettriche convenzionali si distinguono quelle a vapore, a turbogas a ciclo aperto, a cicli combinati e cogenerativi, i gruppi diesel. Nelle centrali a vapore la turbina è azionata dal vapore prodotto in caldaie convenzionali in cui vengono bruciati combustibili fossili: in Italia molte centrali sono policombustibile, cioè possono utilizzare gas e olio pesante. Le caldaie sono a corpo cilindrico o ad attraversamento forzato secondo che il ciclo termodinamico sia supercritico o ipercritico. A livello di regolazione si nota che quella secondaria è inevitabile con caldaie ad attraversamento forzato; nelle altre le valvole di parzializzazione devono essere tali da non provocare eccessive laminazioni (e di conseguenza perdite).
Sul totale della potenza prodotta, i sistemi di trattamento chimico dei fumi assorbono circa il 6-7%, quota analoga a quella assorbita dagli ausiliari dell'impianto (pompe, ventilatori, etc). Il problema principale è costituito dall'avviamento che richiede potenza dalla rete: in assenza della rete si hanno tempi lunghissimi come avviene dopo un grande black-out. Il minimo tecnico è il minimo valore della potenza che permette il funzionamento

dell'impianto senza problemi di condensazione in turbina: per un supercritico il minimo tecnico è tra il 25% ed il 40% della nominale, per un ipercritico è attorno al 60%. Sulla rete italiana è richiesto un load rejection per almeno 20 minuti, cioè una centrale deve "resistere" 20 minuti alimentando solo i propri ausiliari. Può capitare, come accaduto nel 2003, che tale meccanismo non funzioni, e la centrale "si spenga" e non si riesca ad avviare prima di 24 ore. La fase di carico è a rampa e non a gradino, ed è dell'ordine dell'1%/minuto, cioè una volta fatto il parallelo con la rete serve circa un'ora e mezza per arrivare alla potenza nominale.

I costi di installazione e quelli di esercizio di una centrale a vapore sono medi, i primi sono più elevati per i gruppi a carbone, mentre i secondi sono più bassi se si usa il carbone. In questo caso si ha combustibile economico e l'impianto lavora circa 6500 ore equivalenti l'anno. Il numero di ore equivalenti si ottiene come rapporto tra la energia prodotta annualmente e la potenza nominale.

Nelle centrali turbogas a ciclo aperto il generatore è collegato a una turbina a gas: i combustibili usati sono il gas naturale e i distillati leggeri del petrolio come il cherosene.

Nella gestione del sistema elettrico i turbogas servono per coprire i picchi di carico, perché hanno bassi costi di installazione ma alto costo di esercizio: questo valeva soprattutto in passato con un sistema verticalmente integrato, mentre oggi in condizioni di mercato l'installazione dei turbogas non è più economica.

I tempi di avviamento sono dell'ordine delle decine di minuti: anche in questo caso all'avvio serve prelevare potenza dalla rete, almeno per il compressore. Per ridurre la potenza richiesta dal compressore si riduce la velocità di rotazione

MASTER COPY

Tel. 388/9837745

03/03/2010

Richiami di centrali elettriche

Una centrale turbogas a ciclo aperto ha rendimento tra il 25 e il 35%, con picchi oltre il 40%; il minimo tecnico è molto alto per problemi di turbolenza di velocità delle turbine: l'avviamento è molto veloce e la rampa di presa di carico rapida, quindi tali centrali sono utilizzate nel servizio di punta.

Una centrale a ciclo combinato o cogenerativo si basa sul recupero del calore presente nei fumi in una caldaia a recupero di un ciclo a vapore o come calore per cicli industriali diversi. Vi sono vantaggi sul rendimento (60% per il ciclo combinato gas-vapore, più alti per la cogenerazione), svantaggi se l'alternatore è unico in caso di guasti, e sempre in caso di guasti alla caldaia se non è presente il camino di bypass. La maggior parte delle centrali in attività in Italia sono a ciclo combinato per sfruttare il loro elevato rendimento e la necessità di vicino acque di raffreddamento.

Il minimo tecnico è molto elevato, la sezione a gas si avvia in modo rapido (20-30 minuti), mentre la sezione a vapore la rampa di presa di carico del 1%/minuto e quindi in assenza del camino di bypass la centrale "parte" in due ore circa o comunque richiede un tempo di quell'ordine di grandezza per arrivare alla nominale.

I costi di installazione sono in genere bassi, perché tali centrali vengono realizzate in serie: alcuni anni fa costavano 550 €/KW; per avere caldaia unfired serve un rapporto tra le potenze di 1÷2 tra la parte a vapore e quella a gas.

Si parla anche di repowering di centrali a vapore effettuato con la aggiunta di gruppi turbogas che incrementa la potenza installata del 50% ed il rendimento di alcuni punti. Quando invece si ha un impianto cogenerativo si può avere regolazione sulla parte elettrica o su quella termica secondo l'utenza termica che è

considerata quella principale.
Le centrali a gruppi Diesel sono utilizzate per carichi isolati come le piccole isole, hanno velocità media (4-6 paia di poli), con un rendimento elevato (oltre il 45%), tempi di avviamento ridotti ma costi elevati sia per il combustibile che per la manutenzione molto frequente come il cambio dell'olio. Le taglie per singola unità vanno da alcuni MW fino a 50 MW; i gruppi Diesel vengono usati come alimentazione di emergenza proprio per il ridotto tempo di avviamento (alcuni minuti).
Le centrali nucleotermoelettriche sono centrali a vapore in cui la caldaia è costituita dal vessel e da alcuni scambiatori dove l'acqua di ciclo evapora col calore della fissione nucleare. Per una questione di sicurezza viene limitata la pressione dell'acqua ed il rendimento è attorno al 35%. I costi di installazione sono molto elevati, quelli di funzionamento medi perché il combustibile usato è poco costoso (per unità di energia) mentre i sistemi di sicurezza sono molto onerosi. I tempi di avviamento sono lunghissimi, fino ad una settimana, quindi gli impianti nucleari vengono usati per più di 7000 ore/anno come servizio di base, alla potenza nominale; i tempi di manutenzione sono attorno a 7 settimane/anno.
Le tipologie di impianti nucleari utilizzati sono a gas-grafite, BWR, PWR, autofertilizzanti: la maggior parte degli impianti sono PWR.
Le centrali geotermoelettriche sono centrali a vapore in cui il calore viene estratto dal suolo sotto forma di vapore o di acqua in pressione. Hanno fattori di utilizzazione molto elevato, 8000 ore/anno e non sono regolabili quindi lavorano nel servizio di base.
I costi sono prevalentemente legati alla parte mineraria perché è necessario forare il suolo fino ad alcuni Km di profondità.
La fonte geotermica è considerata rinnovabile e quindi la priorità

nel dispacciamento e lavora in continuo; quando viene fermata per manutenzione ha tempi di avviamento di un'ora a freddo e circa 10 minuti a caldo. Non viene usata neanche la regolazione primaria; il rendimento è ~~attorno~~ minore del 10% con punte superiori in caso di sistemi di recupero del calore.

Le centrali eoliche vengono classificate come utilizzatori di nuove fonti rinnovabili e sono costituite da un'elica collegata ad una turbina eolica e ad un alternatore. La pala funziona come un'ala rovesciata cioè ha profilo superiore ed inferiore diversi tra loro per avere portanza migliore. La velocità di rotazione è bassa per motivi aerodinamici, dell'ordine dei 10 giri/minuto con valori più elevati per le macchine piccole (1 MW → circa 45 r/m), quindi sono necessari moltiplicatori di velocità che causano aumento del rumore e dell'inerzia.

Il rendimento massimo ottenibile è poco meno del 60% (limite di Betz 16/27), in realtà si ottiene un 40%; inoltre la pala lavora per velocità comprese tra il cut-in (~3 m/s) ed il cut-off (~ m/s), e la potenza prodotta è proporzionale al cubo della velocità tra il cut-in e la nominale, pari alla potenza nominale tra la velocità nominale ed il cut-off. I tempi di funzionamento sono attorno a 2000 ore/anno, la produzione è aleatoria e non regolabile, cosa che causa problemi nella gestione della rete quando la potenza installata è elevata come in Germania (in Italia è modesta, circa 4/5000 MW).

Le due tipologie di aerogeneratori sono a velocità fissa e passo variabile, e a velocità variabile e passo fisso: nella prima la macchina elettrica ruota alla stessa velocità grazie alla variazione del passo delle pale, che sfrutta diversamente la velocità del vento variando il coefficiente di portanza; nella seconda è necessario l'uso di inverter per avere variazioni di velocità.

Con le centrali a nuove fonti rinnovabili si pone il problema di