

## INDICE

	<u>Pagina</u>
1 INTRODUZIONE	1
2 CICLI RIPOTENZIATI E CICLI COMBINATI	2
3 RENDIMENTI PER GRANDI IMPIANTI DI COMBUSTIONE	3
4 CONFRONTO FRA GLI ASSETTI: ASPETTI ENERGETICI	5

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione riporta le principali indicazioni sugli aspetti energetici associati al processo produttivo della Centrale. Le indicazioni sono ricavate dalle “Linee Guida per le Migliori Tecniche Disponibili (MTD) per i Grandi Impianti di Combustione” (Gruppo Tecnico Ristretto, 2005). In particolare sono indicati i miglioramenti (in termini di rendimento energetico) associati alle modifiche di Fase I e in Fase II.

La presente relazione è così strutturata:

- breve descrizione degli aspetti energetici associati al funzionamento degli impianti in assetto ripotenziato e dei cicli combinati;
- analisi dei parametri che agiscono sul rendimento degli impianti di combustione come individuati dalle Linee Guida sui Grandi Impianti di Combustione;
- confronto della proposta impiantistica con le indicazioni delle Linee Guida.

## 2 CICLI RIPOTENZIATI E CICLI COMBINATI

I cicli combinati rappresentano una categoria di impianti in cui alla generazione di potenza sono preposte sia le turbine a vapore che le turbine a gas (Gruppo Tecnico Ristretto, 2005). Nel parco di produzione italiano si possono identificare i seguenti assetti accoppiati “turbina a vapore – turbina a gas”:

- cicli ripotenziati;
- turbine a gas con generatore di vapore a recupero.

Il primo tipo deriva dal ripotenziamento delle centrali di generazione tradizionali, dove il preriscaldamento dell’acqua di alimento del ciclo termico è effettuato in uno scambiatore recuperatore utilizzando i fumi di scarico della turbina a gas, anziché attraverso il prelievo di una parte del vapore dalla turbina; in questo modo è possibile avere, per lo stesso sito, un incremento di:

- potenza installata (per le turbine a gas installate);
- potenza ricavata dalla turbina a vapore (per la minore quantità di vapore estratta durante l’espansione);
- rendimento del ciclo complessivo.

La seconda configurazione è relativa agli impianti di più recente costruzione, dove l’incremento della potenza delle turbine a gas ha favorito la soluzione con turbina a vapore che segue il carico stabilito dalla prima. Il ciclo prevede che i fumi prodotti dalla combustione, dopo l’espansione nella turbina a gas, attraversino un generatore di vapore a recupero (a uno o più livelli di pressione), in grado di produrre vapore da far espandere nella turbina, per produrre ulteriore potenza elettrica.

In un ciclo combinato circa un terzo della potenza dell’intero impianto è prodotta dalla turbina a vapore, mentre i rimanenti due terzi sono prodotti dalla turbina a gas; questo comporta un rendimento particolarmente elevato, in quanto la turbina a gas presenta un’elevata efficienza della conversione energetica.

Il ciclo a vapore si completa in modo tradizionale con un condensatore con il suo circuito di smaltimento del calore. Questa combinazione, per gli alti rendimenti delle turbine a gas dell’ultima generazione, consente di raggiungere in assoluto i migliori rendimenti degli impianti di generazione in Italia.

### 3 RENDIMENTI PER GRANDI IMPIANTI DI COMBUSTIONE

Ci sono diversi modi per descrivere il rendimento di un processo di generazione basato sulla combustione. Al fine di permetterne confronti, sono stati predisposti un gran numero di standard, nazionali ed internazionali in grado di stabilire le prove di accettazione e le misure da effettuare per calcolare il rendimento dell'impianto (Gruppo Tecnico Ristretto, 2005).

Il rendimento di un impianto di combustione dipende da numerosi fattori, in particolare:

- tecniche e parametri di processo:
  - combustione: il combustibile è miscelato in aria e bruciato nella caldaia. Non è possibile ottenere e mantenere un mix ideale d'aria e combustibile, perciò si rende normalmente necessaria una maggiore quantità di aria rispetto a quella stechiometrica; inoltre una parte del combustibile non brucia completamente. La temperatura dei fumi in uscita deve essere mantenuta abbastanza alta per prevenire la condensazione delle sostanze acide lungo le superfici scaldanti,
  - incombusti nella cenere: l'ottimizzazione della combustione porta a minori quantità di incombusti nelle ceneri. Occorre notare che le tecnologie di abbattimento degli NOX attraverso la combustione porta tuttavia ad un incremento degli incombusti. Ciò potrebbe peggiorare la qualità delle ceneri volatili e rendere difficile la loro utilizzazione in applicazioni civili, dove occorre il rispetto di requisiti standard nazionali ed europei,
  - eccesso d'aria: la quantità dell'aria in eccesso dipende dal tipo di caldaia e dalla natura del combustibile, tipicamente è richiesta un eccesso del 15-20% per caldaie alimentate a polverino di carbone. Per ragioni di qualità della combustione, relativa alla formazione di CO e di incombusti, e per ragioni di corrosione e sicurezza (esplosione in caldaia), non è possibile ridurre l'eccesso d'aria oltre a determinati livelli,
  - vapore: i parametri più importanti per incrementare il rendimento dell'impianto sono la pressione e la temperatura del vapore. Nei moderni impianti di generazione, il vapore già parzialmente espanso in turbina ad alta pressione, viene ulteriormente riscaldato negli stadi di surriscaldamento. Tali parametri termodinamici (pressione e temperatura) definiscono le caratteristiche di progetto dell'impianto e la loro variazione deve essere contenuta all'interno di intervalli piuttosto ridotti,
  - temperatura fumi: la temperatura dei fumi uscenti dalla caldaia varia tradizionalmente tra 120° e 220 °C e dipende essenzialmente dal tipo di impianto utilizzato,
  - vuoto al condensatore: dopo aver completato l'espansione nel corpo di bassa pressione della turbina, il vapore è condensato nel condensatore cedendo il

calore residuo al sistema di raffreddamento: allo scopo di garantire il massimo salto di pressione alla turbina, è conveniente aumentare il vuoto ai valori più spinti. In generale il grado di vuoto è subordinato alla temperatura dell'acqua di raffreddamento, minore per sistemi a circolazione forzata di quelli con torre di raffreddamento. Ove disponibile, la refrigerazione con acqua è normalmente quella preferibile,

- esercizio a pressione costante e variabile: nell'esercizio a pressione costante, la pressione all'ingresso turbina è mantenuta costante a tutti i carichi, variando l'area di passaggio del vapore all'ingresso turbina. Nell'esercizio a pressione variabile, con l'area di ingresso turbina mantenuta costante al massimo grado di apertura, la potenza è regolata variando la pressione a monte della turbina,
- preriscaldamento del condensato e dell'acqua alimento: il condensato uscente dal condensatore e l'acqua di alimento alla caldaia sono riscaldati a valori di temperatura di poco inferiori alla temperatura di saturazione del vapore estratto. L'energia termica proveniente dal processo di condensazione così rimane nel sistema, riducendo la quantità di calore da rimuovere al condensatore e migliorando il rendimento
- cogenerazione: la generazione combinata di calore (vapore di processo o calore urbano) e energia elettrica aumenta il rendimento del combustibile, a circa 70-90%;
- tipologia di impianto: nella sottostante tabella si riportano i valori tipici dei rendimenti di impianti nuovi o esistenti, come stabiliti dalle analisi elaborate in ambito comunitario per l'individuazione delle MTD. La tabella evidenzia come i cicli combinati presentino i valori più alti di efficienza energetica.

Tipologia di impianto	Taglia massima di impianto o sezione [MWe]	Efficienza elettrica in pura condensazione [%]	
		Nuovo	Esistente
Centrali elettriche con caldaie tradizionali	-	40÷42	38÷40
Turbine a gas in ciclo semplice	-	38÷42	32÷35
Ciclo combinato con turbina a gas	Fino a 150	50÷52	44÷48
Ciclo combinato con turbina a gas	Fino a 250	51÷52	45÷49
Ciclo combinato con turbina a gas	Fino a 400	54÷57	46÷49

## 4 CONFRONTO FRA GLI ASSETTI: ASPETTI ENERGETICI

Attualmente la Centrale di Turbigo è costituita da quattro unità, ripotenziata con l'installazione di altrettanti turbogas. Nella sottostante tabella si riportano le potenze nominali dei quattro gruppi.

Unità	Turbine a Gas (MWe)	Turbine a Vapore (MWe)	Totale (MWe)
Gruppo 1	125	250	375
Gruppo 2	125	320	445
Gruppo 3	125	330	455
Gruppo 4	125	330	455
<i>Totale</i>	<i>500</i>	<i>1230</i>	<i>1730</i>

Le nuove configurazioni di esercizio previste della Centrale prevedono:

- in Fase I:
  - un ciclo combinato (nel seguito denominato CC2+1) costituito da due turbine a gas da 264 MWe ciascuna, due nuovi Generatori di Vapore a Recupero (GVR) a tre livelli di pressione con risurriscaldamento e post-combustione ed una a vapore,
  - il mantenimento degli attuali gruppi convenzionali TL11, TL21 e TL31. I gruppi TL11 e TL31 saranno eserciti in assetto isolato, il gruppo TL21 sarà invece esercito in assetto ripotenziato in associazione all'esistente turbina a gas già connessa con questo gruppo;
- in Fase II:
  - un ciclo combinato (nel seguito denominato CC2+1) costituito da due turbine a gas da 264 MWe ciascuna, due nuovi Generatori di Vapore a Recupero (GVR) ed una a vapore,
  - un ciclo combinato (nel seguito denominato CC1+1) costituito da una turbine a gas da 264 MWe, un nuovo Generatore di Vapore a Recupero (GVR) ed una a vapore,
  - il mantenimento degli attuali gruppi convenzionali TL11 e TL31, che saranno eserciti in assetto isolato.

Nella seguente tabella sono confrontate le potenze termiche, elettriche e dissipate, nonché il rendimento lordo, della configurazione di progetto con quella attuale e con quella del progetto di Fase I e di Fase II.

<b>Bilancio Energetico dell'Impianto: Confronti</b>					
<b>Potenza (MW)</b>	<b>Situazione Attuale</b>	<b>Fase I</b>	<b>Fase II</b>	<b>Confronto della Fase II con</b>	
				<b>Attuale</b>	<b>Fase I</b>
Termica Immessa	4122	3994	3699	-423	-295
Elettrica Lorda	1730	1880	1865	135	-15
Dissipata Condens.	1700	1700	1520	-180	-180
Dissipata Atmosfera	666	389	293	-373	-96
Totale Dissipata	2392	2114	1834	-558	-280
<i>Rendimento Lordo</i>	42.0 %	47.1 %	50.4 %	+ 8.4 %	+ 3.3 %

Dai dati presentati in tabella si può rilevare che:

- in Fase I:
  - si avrà una notevole riduzione della potenza complessivamente dissipata (circa -278 MW, pari ad una riduzione di circa il 12 %), quasi completamente dovuta alla riduzione della dispersione di calore in atmosfera (recuperata nel GVR), mentre la potenza dissipata al condensatore rimane sostanzialmente invariata,
  - il rendimento elettrico (lordo) dell'impianto passa dal 42 % circa attuale al 47 % circa, con un aumento di circa 5 punti di percentuale;
- in Fase II:
  - si avrà una ulteriore notevole riduzione della potenza complessivamente dissipata (quasi 300 MW rispetto alla configurazione di Fase I ma oltre 550 MW rispetto alla situazione attuale), dovuta sia alla riduzione della dispersione di calore in atmosfera, che alla minore potenza dissipata al condensatore,
  - il rendimento elettrico (lordo) dell'impianto aumenta fino ad oltre il 50 %, rispetto al 42 % circa attuale e al 47 % circa conseguibile nella Fase I di riqualificazione ambientale.

I nuovi cicli combinati consentono un incremento delle prestazioni della Centrale, migliorando in maniera significativa l'efficienza energetica dell'impianto: infatti i cicli combinati presentano un rendimento assai elevato e pari a circa il 56%, ossia nell'intervallo (54÷57 %) individuato dalle Linee Guida per impianti di tipologia analoga.

La soluzione impiantistica proposta risulta pertanto conforme ai criteri di rispondenza identificati dalle Linee Guida per Grandi Impianti di Combustione.