

Corso di Sistemi Energetici L

Esame del 3-7-2015

Una turbina a gas ha una potenza di 15 MW_e , un rendimento del $35\%_{\text{PCI}}$ e genera fumi con le caratteristiche in tabella:

Portata	50 kg/s
Temperatura	450°C
Calore specifico, c_p	1.03 kJ/kg/K
Composizione volumetrica:	
O ₂	12.5%
CO ₂	4%
H ₂ O	8%
N ₂	75.5%
Concentrazione di NO _x	50 mg/Nm ³ fumi secchi @15% O ₂

$MM_{\text{O}_2} = 32 \text{ kg/kmole}$, $MM_{\text{CO}_2} = 44 \text{ kg/kmole}$, $MM_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ kg/kmole}$, $MM_{\text{N}_2} = 28 \text{ kg/kmole}$

I gas sono utilizzati in una caldaia a recupero per produrre vapore saturo a 4 bar ($T_{\text{sat}}=143.6^\circ\text{C}$, $h_{\text{liq-sat}}=604.7 \text{ kJ/kg}$; $h_{\text{vap-sat}}=2738.1 \text{ kJ/kg}$) a partire da liquido saturo a fini cogenerativi. La caldaia a recupero è quindi costituita unicamente di un banco di scambio evaporatore e l'utenza termica utilizza il calore recuperato condensando il vapore prodotto nella caldaia a recupero fino alla condizione di liquido saturo. La caldaia a recupero è dotata di bruciatori per post-combustione a metano ($\text{PCI}=50 \text{ MJ/kg}$, $MM_{\text{CH}_4}=16 \text{ kg/kmole}$, $T=25^\circ\text{C}$), che possono innalzare la temperatura dei gas in ingresso al banco evaporatore fino a 550°C .

1. Si chiede di svolgere i seguenti calcoli di bilanci di materia e combustione:
 - a. Si calcoli la portata volumetrica dei fumi (in Nm^3/s) in uscita dalla turbina e la portata massica di NO_x (in g/s). (10)
 - b. Si calcoli la portata di metano bruciata nei bruciatori post-firing quando questi operano alla massima potenza (innalzando cioè la temperatura dei gas della turbina da 450 a 550°C). Si assuma per semplicità che il calore specifico dei gas combustibili prima e dopo la post-combustione rimanga inalterato. (10)
 - c. Si calcoli la composizione dei gas combustibili dopo la post-combustione. (10)
2. Si chiede di svolgere i seguenti calcoli energetici:
 - a. Assumendo opportuni valori per il ΔT di pinch point e le perdite termiche dalla caldaia, si calcoli la portata di vapore prodotta con post-bruciatori spenti. (5)
 - b. Trascurando variazioni di coefficiente globale di scambio termico U e trascurando la variazione portata di gas tra il funzionamento con post-bruciatori accesi e spenti, si calcoli il ΔT di pinch point e la portata di vapore prodotta quando i post-bruciatori vengono accesi alla massima potenza, assumendo di mantenere la pressione di evaporazione a 4 bar con un opportuno sistema di regolazione. (15)
 - c. Si calcoli il rendimento globale e l'indice PES (Primary Energy Saving) del sistema cogenerativo sia con post-bruciatori accesi, sia spenti, assumendo come rendimenti delle tecnologie di riferimento non cogenerative i seguenti valori: $\eta_{\text{el,ref}}=55\%$, $\eta_{\text{th,ref}}=90\%$. (10)
3. Si descriva brevemente il principio di funzionamento dei sistemi SCR e SNCR per l'abbattimento degli NO_x. Se ne menzioni in particolare la temperatura operativa e si commenti quali sistemi sono utilizzabili in impianti a carbone e in cicli combinati a gas naturale. (20)
4. Si tracci lo schema completo con la massima accuratezza possibile di un ciclo a vapore a carbone con 2 RH e 6 rigeneratori (3 di bassa pressione, incluso degasatore, + 3 di alta pressione). (20)