
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

PRIMA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 6: ENERGETICA – ENERGETICA

Si consideri un sistema energetico con turbina a gas a ciclo di Brayton semplice per la generazione elettrica. Si prendano i seguenti dati di targa:

- Rapporto di compressione $\beta_c = 25$
- rendimento isoentropico di compressione, $\eta_{c,is} = 0.8$
- rendimento isoentropico di espansione, $\eta_{t,is} = 0.87$
- temperatura in ingresso alla turbina, $TIT = 1300 \text{ }^\circ\text{C}$

Nella camera di combustione viene alimentato gas naturale con potere calorifico inferiore (LHV) di 47 MJ/kg. Nell'attraversare la camera di combustione, i gas subiscono una perdita di carico Δp_{cc} del 5%. Si assuma un rendimento elettromeccanico pari a $\eta_{Tg,em} = 0.9$. Si consideri per i fumi in uscita dalla camera di combustione un calore specifico, $c_{p,g}$, pari a 1.2 kJ/(kg·K) e una costante dei gas $R_g = 291 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, mentre per l'aria ambiente si faccia riferimento alle condizioni ISO.

Si richiede di:

- 1) definire il layout del ciclo descritto
- 2) determinare i valori di temperatura e pressione delle sezioni del ciclo (compilare la tabella fornita)
- 3) rappresentare il ciclo nel diagramma termodinamico temperatura-entropia
- 4) sapendo che la portata aspirata dal compressore è di 20 kg/s e che l'impianto lavora con un rapporto aria-combustibile $\lambda = 50$, determinare:
 - la portata di combustibile da alimentare
 - la potenza netta prodotta
 - il rendimento termodinamico e quello complessivo del ciclo.

Valutare la possibilità di integrare un impianto ORC (ciclo Rankine a fluido organico, figura 1) come bottomer al gruppo turbogas per realizzare un ciclo combinato. Considerare una caldaia a recupero di tipo once-through (scambiatore a superficie in controcorrente), che scambia calore direttamente con i fumi in uscita dal TG. Il sistema ORC è dotato di uno scambiatore a superficie in controcorrente che recupera il calore residuo del vapore in uscita dalla turbina, per preriscaldare la corrente in ingresso alla caldaia (ciclo ORC con recuperatore). Il fluido di lavoro impiegato è il Toluene. La pressione massima del ciclo (pressione di evaporazione) non deve superare l'80% del valore della pressione critica, mentre il fluido entra in turbina nello stato di vapore surriscaldato con un grado di surriscaldamento pari a $\Delta T_{surr} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Si utilizzino inoltre i seguenti dati:

- temperatura dei gas in uscita dalla caldaia a recupero, $T_{g,out} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$
- rendimento isoentropico della turbina, $\eta_{t,ORC,is} = 0.85$
- il condensatore del ciclo ORC è alimentato con acqua che entra a una temperatura $T_{cond,in} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ e subisce un aumento di 20 °C
- efficienza di scambio del recuperatore, $\epsilon_{rec} = 0.98$
- differenza fra temperatura dell'acqua in uscita dal condensatore e temperatura di condensazione, $\Delta T_{cond} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- grado di sotto-raffreddamento in uscita dal condensatore, $\Delta T_{sottoraff.} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$
- rendimento elettromeccanico del sistema turbina-alternatore, $\eta_{T,ORC,em} = 0.85$
- rendimento elettromeccanico del sistema motore-pompa, $\eta_{P,ORC,em} = 0.80$

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

PRIMA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 6: ENERGETICA – ENERGETICA

- il vapore esce dal recuperatore ed entra nel condensatore nello stato di vapore saturo secco
- si trascurino le perdite di carico lungo il circuito
- si trascurino le dispersioni termiche verso l'ambiente

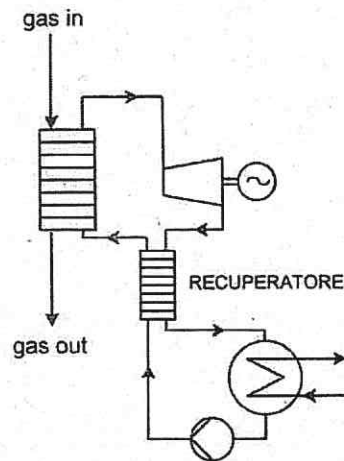
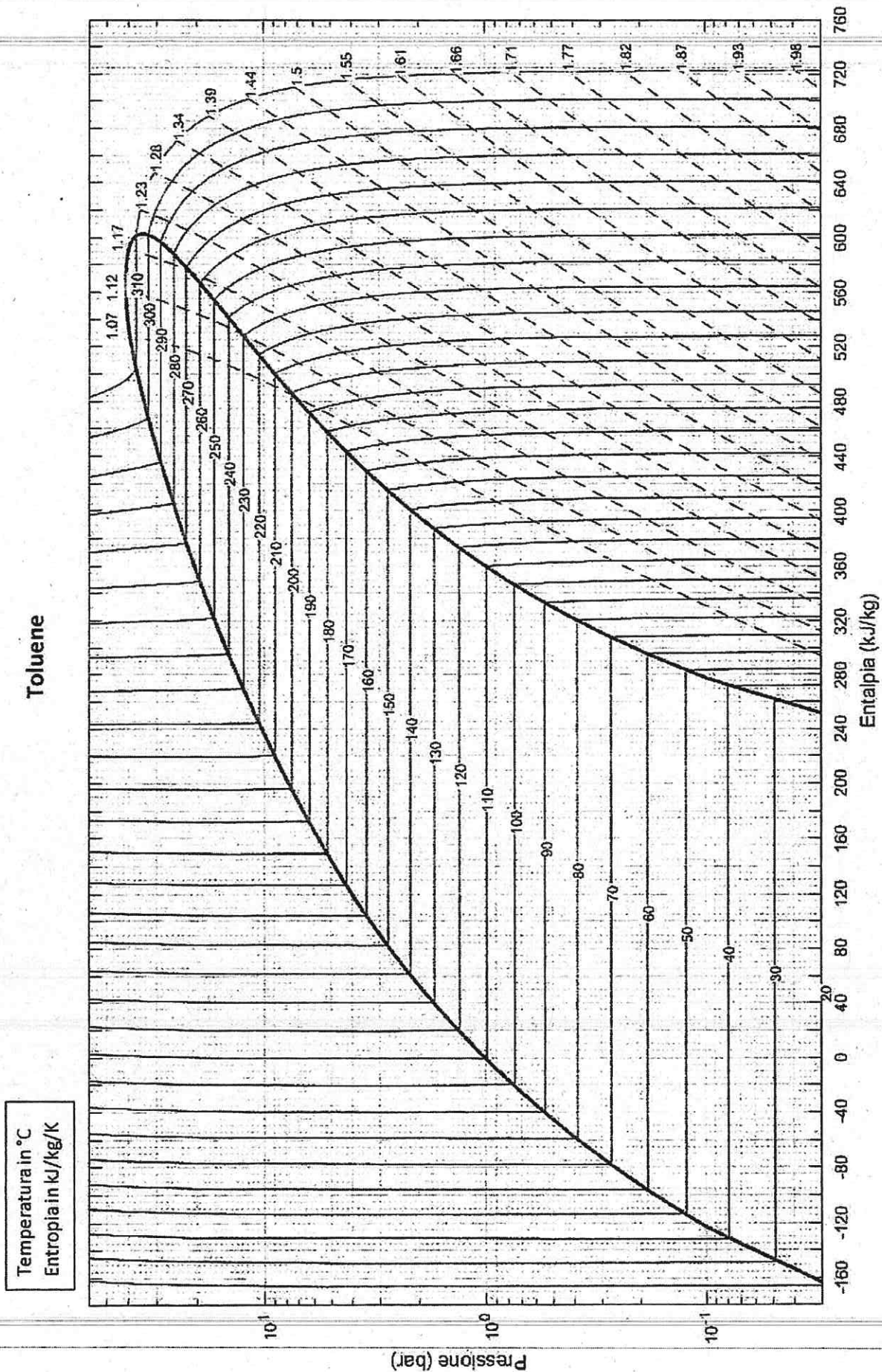


Figura 1 - Layout del ciclo ORC

Si richiede di:

- 5) determinare gli stati fisici (temperatura, pressione, entalpia specifica) in tutti i punti del ciclo ORC (compilare la tabella fornita)
- 6) tracciare il ciclo sul diagramma p-h fornito in appendice
- 7) rappresentare i diagrammi di scambio termico relativi alla caldaia a recupero e al condensatore
- 8) determinare i valori di potenza e rendimento netti dell'impianto bottomer, quindi il rendimento complessivo del ciclo combinato TG-ORC
- 9) calcolare la portata d'acqua al condensatore

Appendice. Diagramma termodinamico pressione-entalpia del Toluene, per la valutazione delle proprietà termodinamiche.



72

72

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

PRIMA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 6: ENERGETICA – ENERGETICA

Tabella 1. Stati fisici ciclo turbogas e ciclo ORC.

	punto	1	2	3	4	5
TG	T (°C)					
	p (bar)					

	punto	6	7	8	9	10	11
ORC	T (°C)						
	p (bar)						
	h (kJ/kg)						

Tabella 2. Prestazioni del ciclo combinato.

TG	Portata di combustibile (kg/s)	
	Calore introdotto (MW)	
	Potenza utile prodotta (MW)	
	Rendimento	
ORC	Portata di fluido organico(kg/s)	
	Calore introdotto (MW)	
	Potenza utile prodotta (MW)	
	Rendimento	
CC	Calore introdotto (MW)	
	Potenza utile prodotta (MW)	
	Rendimento	

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

PRIMA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 6: ENERGETICA – ENERGETICA

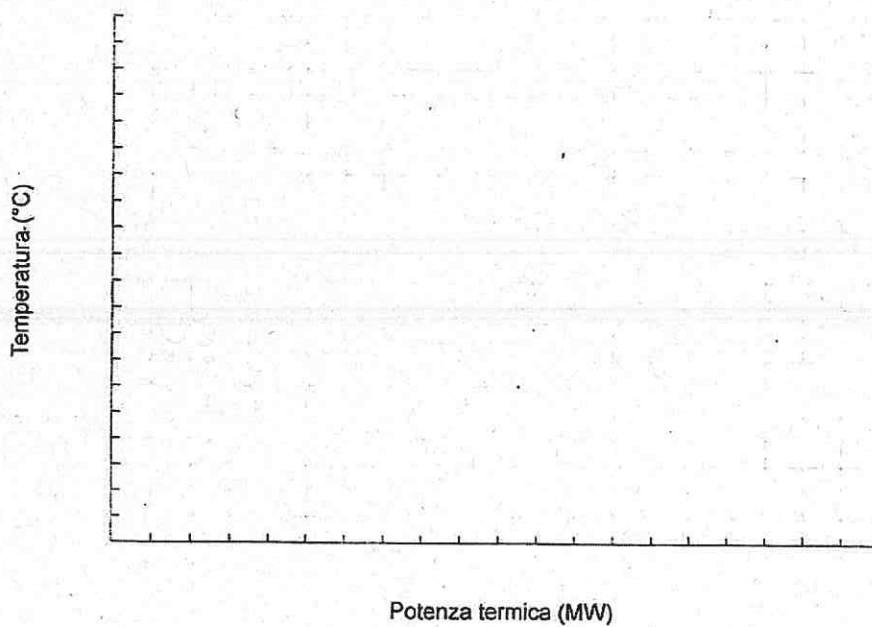
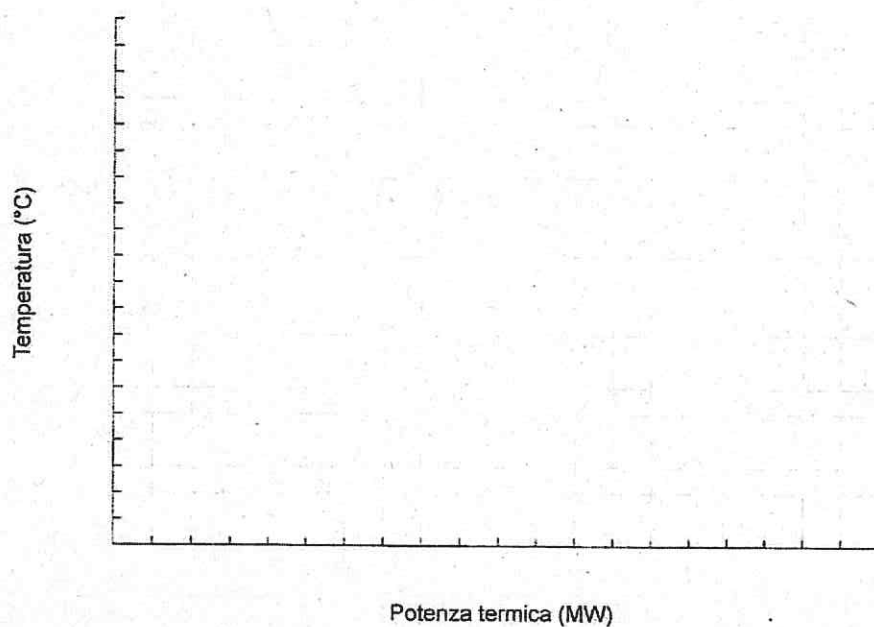


Figura 2. Diagramma di scambio termico caldaia di recupero e condensatore.