

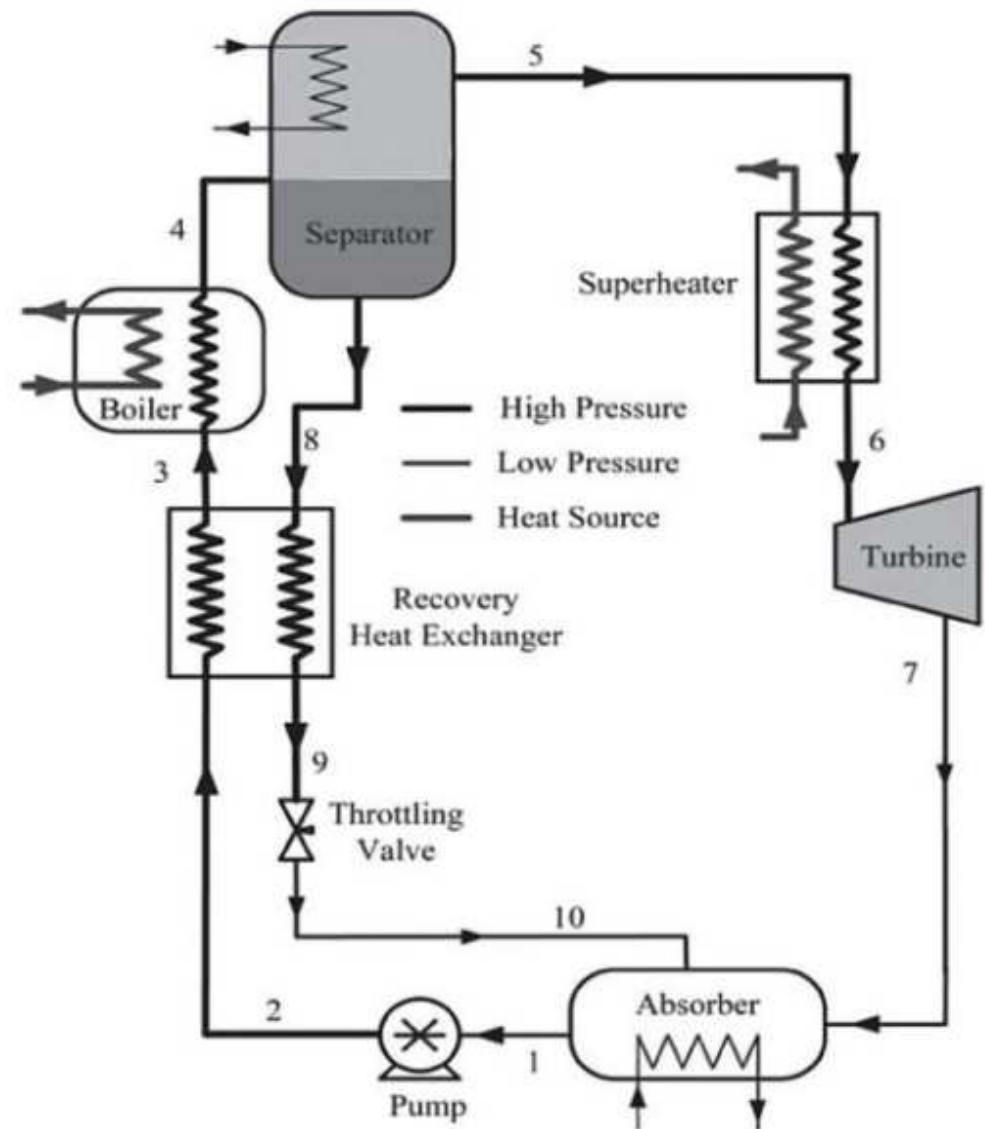
IL CICLO DI KALINA  
PER LO  
SFRUTTAMENTO DI  
CALORE A BASSA  
ENTALPIA

---

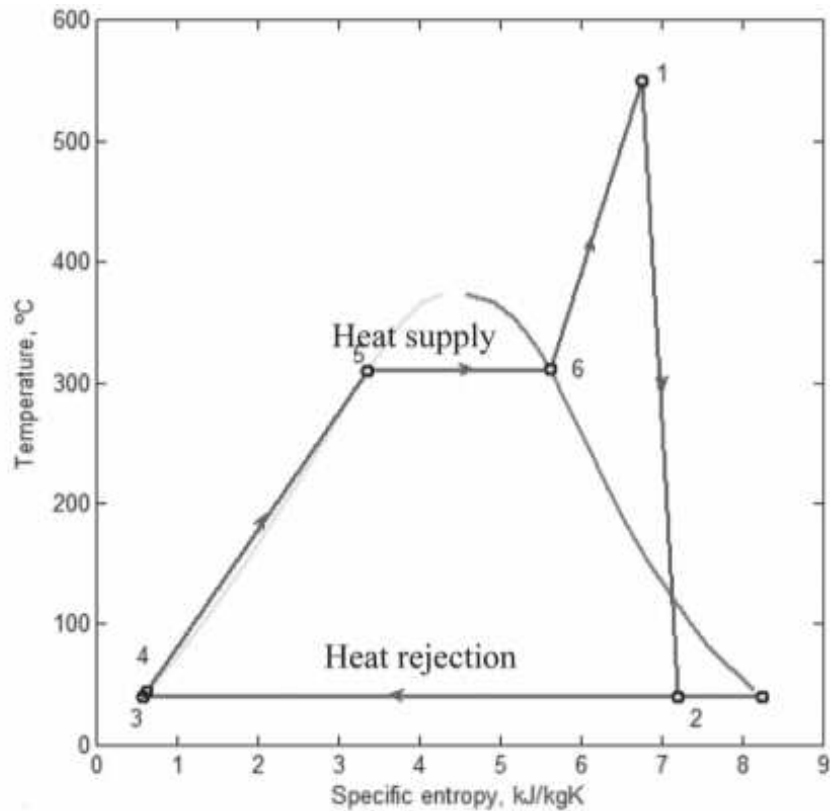


# CICLO DI KALINA SEMPLIFICATO

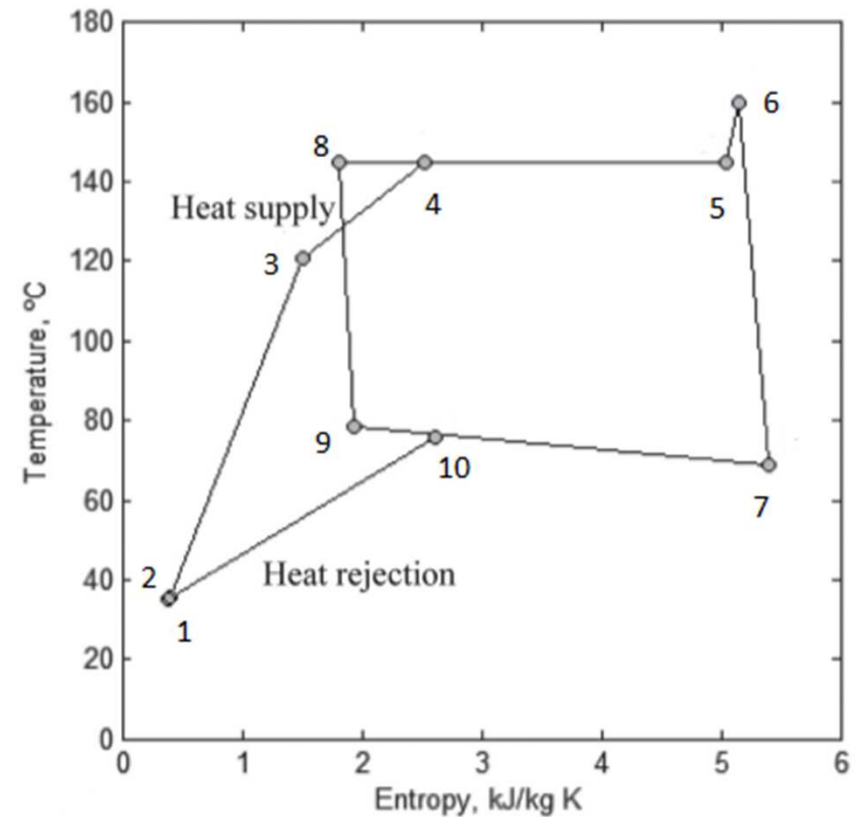
- Ideato agli inizi degli anni '80
- Utilizza un miscuglio di acqua ed ammoniaca come fluido di lavoro
- Basato su un ciclo Rankine a modificato
- Può essere integrato con impianti adoperanti calore a bassa temperatura, come ad esempio il solare o il geotermico
- Valido anche in cascata con turbine a gas per sfruttare i fumi di scarto



# CONFRONTO DEI DIAGRAMMI

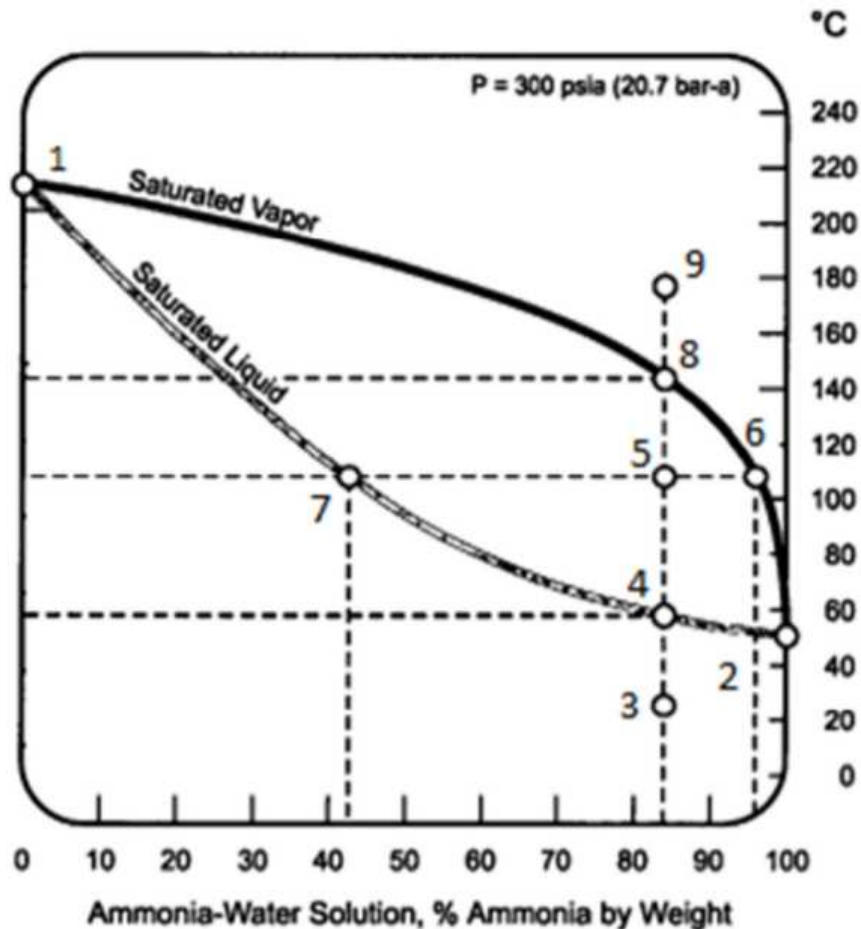


-Diagramma T-s di un ciclo Rankine



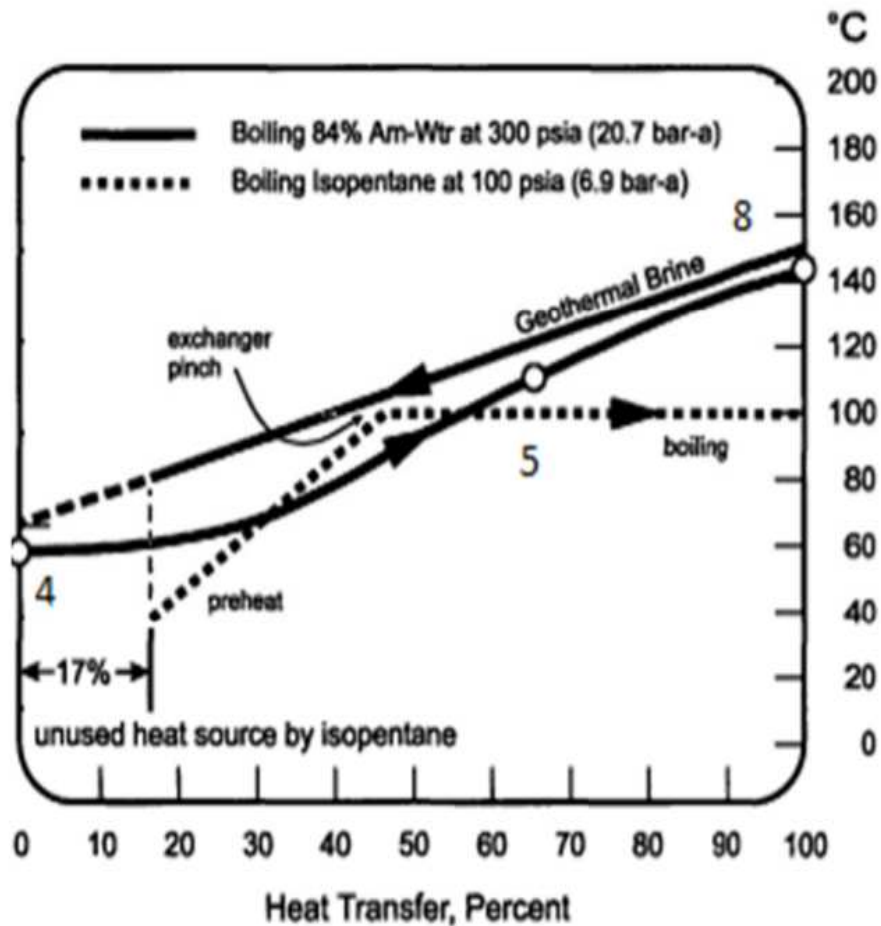
-Diagramma T-s del ciclo Kalina semplificato

# Proprietà della soluzione H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>



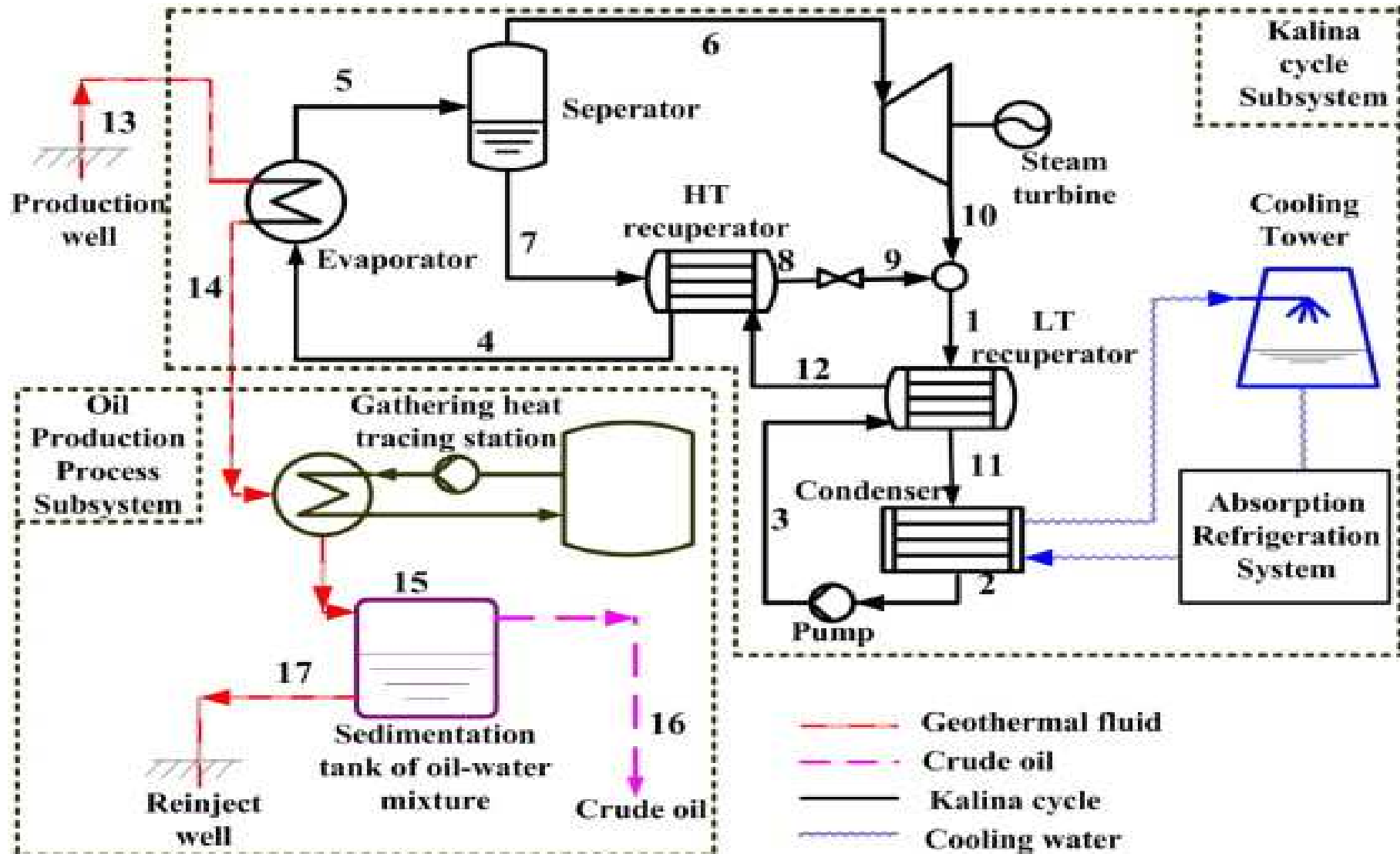
- Diagramma tracciato ad una pressione di 20,7 bar
- L'acqua a tale pressione evapora a 212 °C, contro i circa 155°C della miscela contenente l'80% di ammoniaca
- Concentrazione delle due componenti variabile durante il passaggio di stato
- L'ammoniaca evapora prima dell'acqua, producendo curve di evaporazione e condensazione della miscela non lineari
- La vaporizzazione e la condensazione avvengono in modo non isoterma

# Proprietà della soluzione H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>

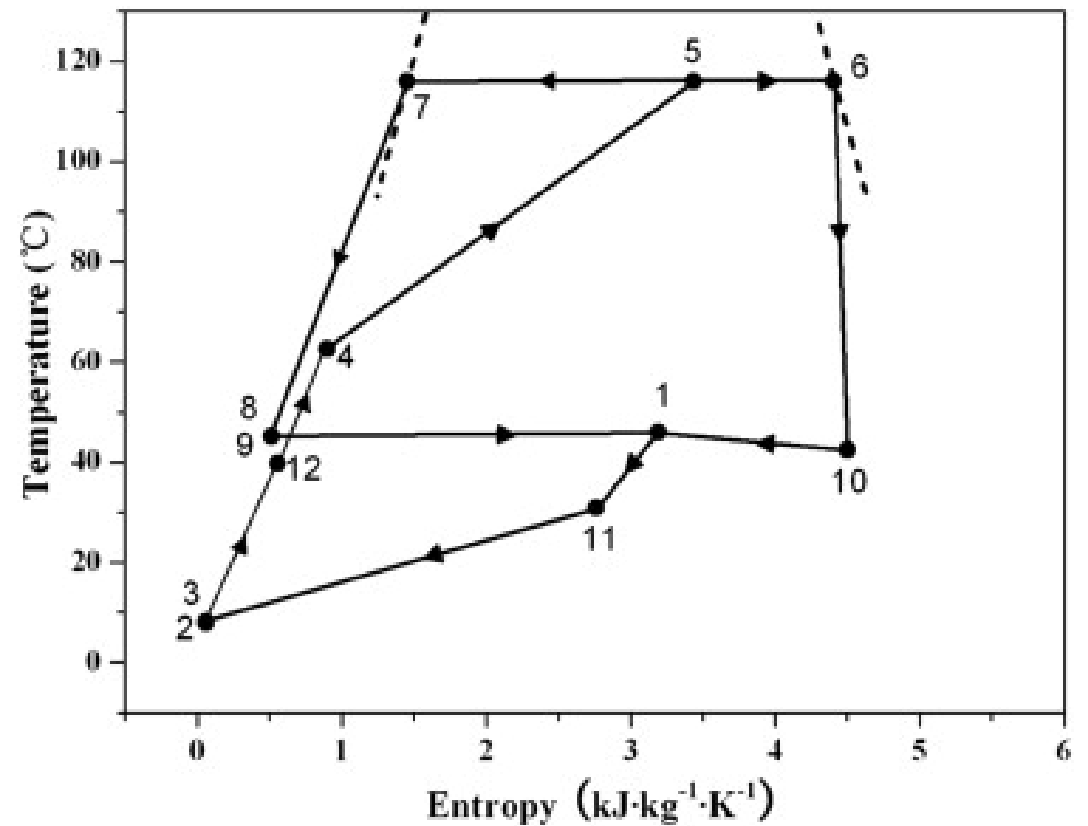
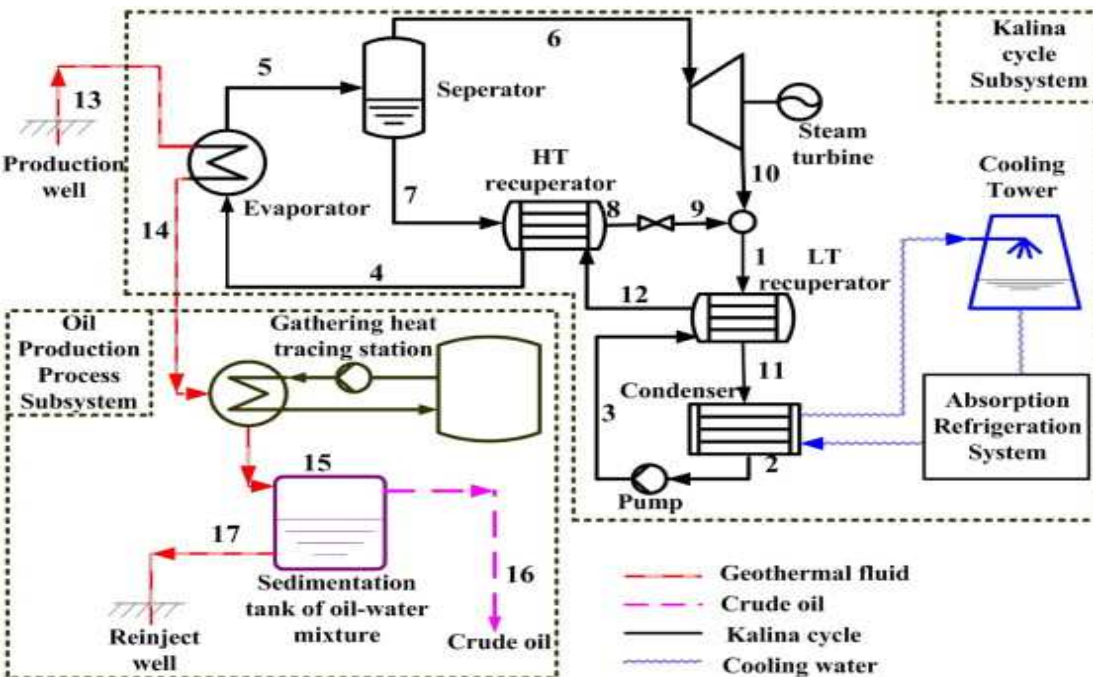


- La temperatura di evaporazione variabile permette alla miscela di seguire da vicino la curva di raffreddamento del fluido riscaldante, permettendo un migliore scambio di calore
- La curva tratteggiata dell'iso-pentano puro, utilizzato in alcuni cicli Rankine organici, non riesce ad estrarre calore dalla zona meno calda del fluido geotermico

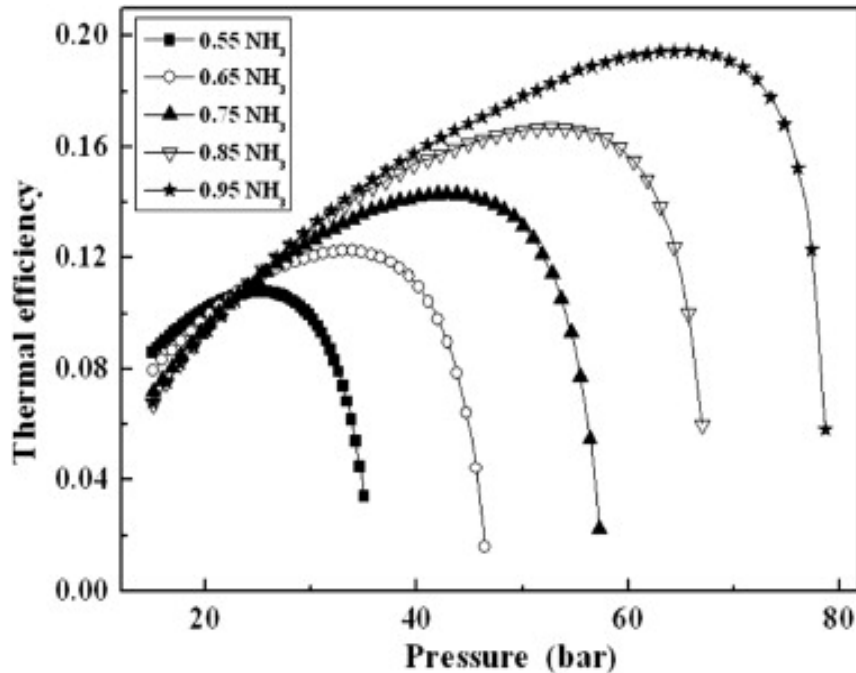
# CICLO KALINA INTEGRATO ALL'ENERGIA GEOTERMICA



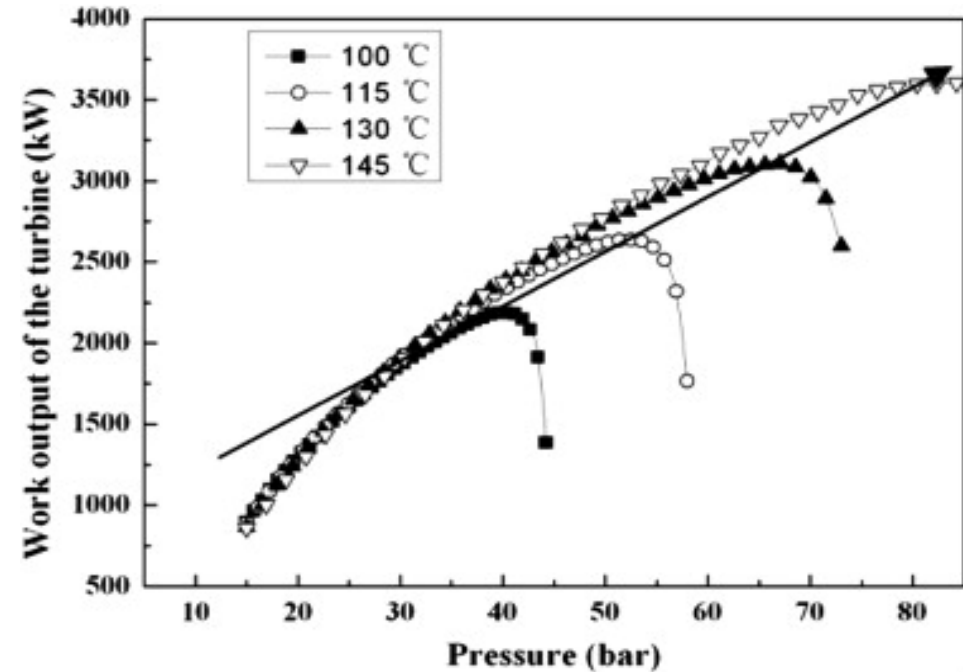
# Diagramma T-s



# PARAMETRI E OTTIMIZZAZIONE



- L'efficienza termica cresce linearmente con l'aumento della concentrazione di ammoniaca
- Oltre un certo valore la pressione di evaporazione diventa troppo elevata per fare evaporare adeguatamente la miscela



- La potenza sviluppata in turbina mostra un andamento simile, da una sorgente di calore più calda si può estrarre più potenza
- La pompa di alimentazione sottrae lavoro utile alla turbina laddove la pressione da mantenere è elevata



# PARAMETRI E OTTIMIZZAZIONE

La simulazione è stata effettuata utilizzando i dati della centrale islandese di Husavik, in cui il fluido geotermico viene estratto ad una temperatura di 124°C.

$p_{turb,in} = 32.3 \text{ bar}$

$p_{turb,out} = 6.6 \text{ bar}$

$T_{evap,in} = 62.5 \text{ °C}$

$T_{evap,out} = 116 \text{ °C}$

$T_{cond,in} = 29.7 \text{ °C}$

$T_{cond,out} = 7.9 \text{ °C}$

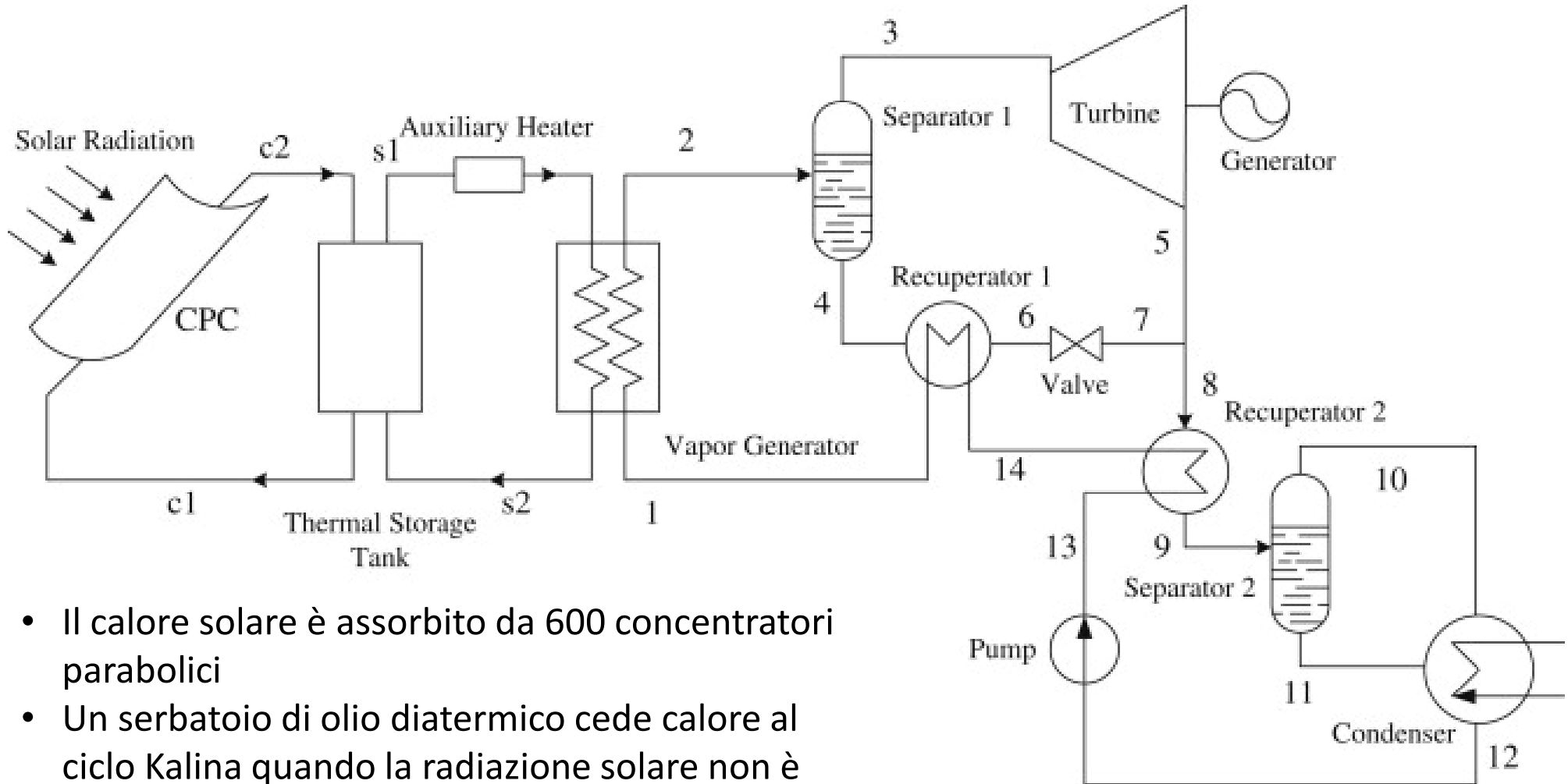
$p_{cond} = 5.77 \text{ bar}$

%NH<sub>3</sub> miscela base = 82%

%NH<sub>3</sub> in turbina = 97.2%

- Con questi dati ottimizzati si ottiene una potenza netta in turbina di 2.18 kW con un'efficienza termica che si assesta intorno al 12.79%

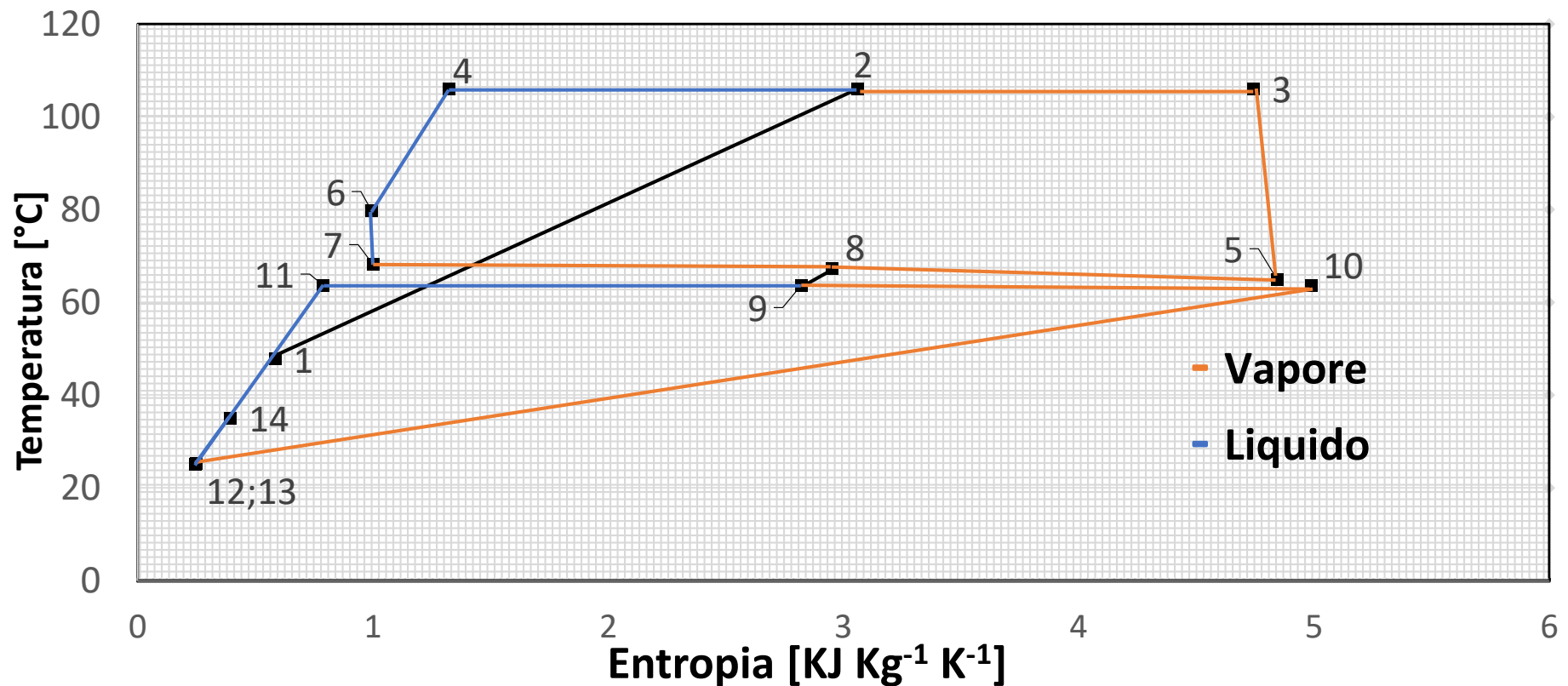
# CICLO KALINA INTEGRATO ALL'ENERGIA SOLARE



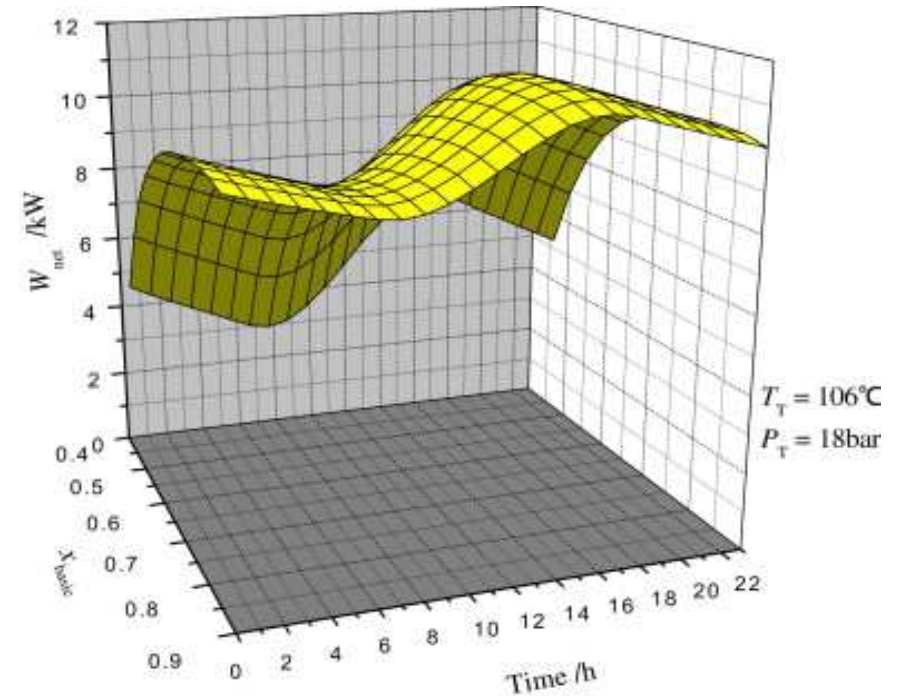
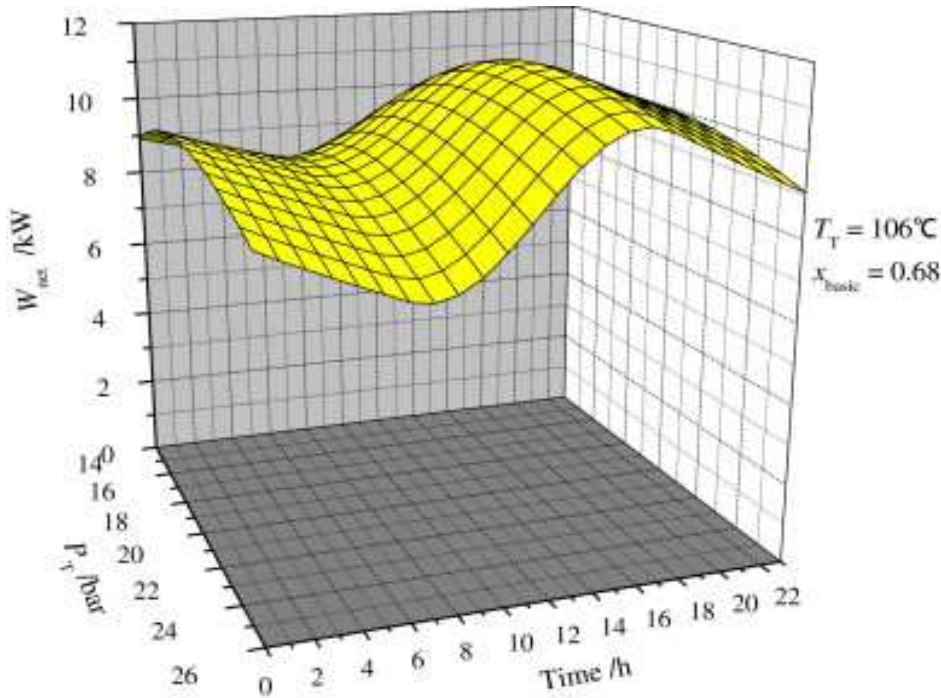
- Il calore solare è assorbito da 600 concentratori parabolici
- Un serbatoio di olio diatermico cede calore al ciclo Kalina quando la radiazione solare non è sufficiente

# DIAGRAMMA T-S

Per l'ottenimento dei risultati, si ipotizza che l'impianto sia situato nella città cinese di Xi'an, il giorno 21 giugno, con i concentratori parabolici montati sull'asse est-ovest.



# PARAMETRI IN TURBINA



- La potenza massima in turbina viene raggiunta intorno alle ore 15
- La quantità di vapore generato nell'evaporatore è inversamente proporzionale alla pressione in ingresso della turbina

- La concentrazione d'ammoniaca influenza notevolmente la potenza generata
- Una percentuale d'ammoniaca elevata implica una maggiore portata di vapore, ma il salto entalpico in turbina viene conseguentemente penalizzato

# PERFORMANCE E OTTIMIZZAZIONE

Parametri ottimizzati:

$p_{\text{turb,in}} = 18 \text{ bar}$   
 $p_{\text{turb,out}} = 6.17 \text{ bar}$   
 $T_{\text{evap,in}} = 47.8 \text{ °C}$   
 $T_{\text{turb,in}} = 106 \text{ °C}$   
 $T_{\text{turb,out}} = 64.95 \text{ °C}$   
 $T_{\text{cond}} = 25 \text{ °C}$   
 $p_{\text{cond}} = 6.17 \text{ bar}$   
 $\% \text{NH}_3 \text{ miscela base} = 89.8\%$

- La potenza assorbita dai concentratori è di 396.21 kW, mentre la turbina sviluppa una potenza di 11.3 kW, con un'efficienza termica del 8.54%