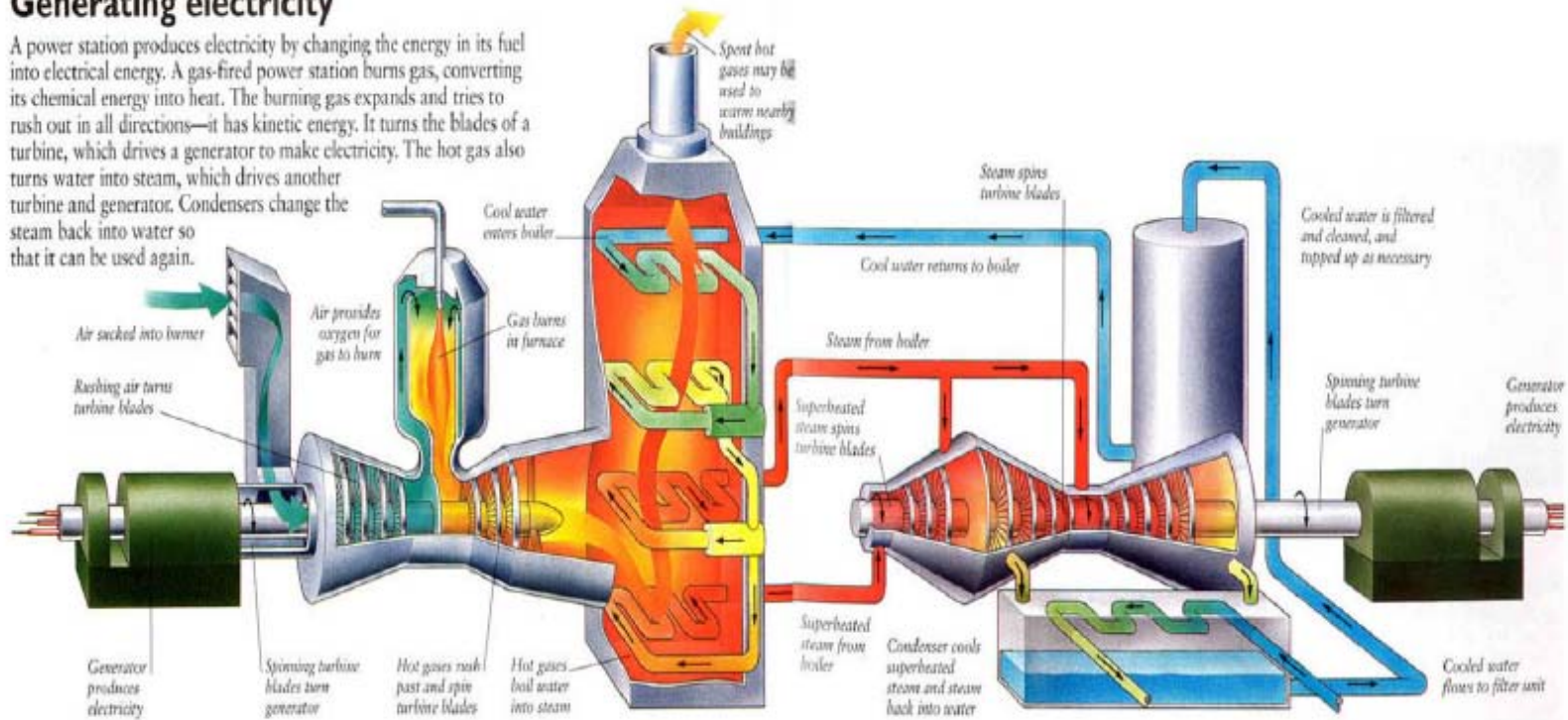


Cicli combinati - Introduzione

Generating electricity

A power station produces electricity by changing the energy in its fuel into electrical energy. A gas-fired power station burns gas, converting its chemical energy into heat. The burning gas expands and tries to rush out in all directions—it has kinetic energy. It turns the blades of a turbine, which drives a generator to make electricity. The hot gas also turns water into steam, which drives another turbine and generator. Condensers change the steam back into water so that it can be used again.

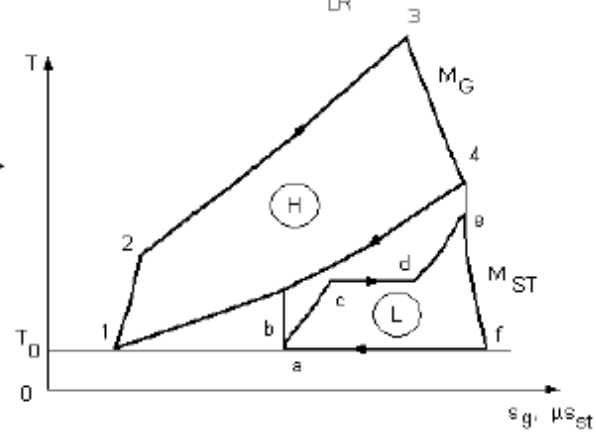
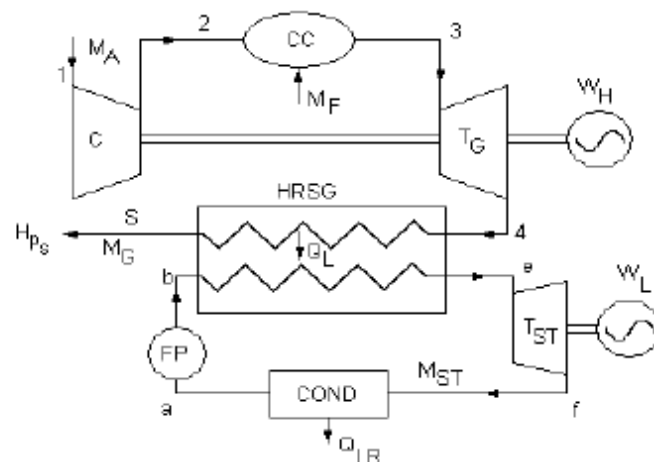


Cicli combinati - Introduzione

- L'attuale diffusione degli impianti con turbina a gas è dovuta anche ai cicli combinati gas-vapore, nei quali si recupera il calore sensibile dei gas di scarico del turbogas, portandoli a temperature prossime a quella atmosferica.
- Il ciclo a vapore (Hirn-Rankine) rappresenta comunque il punto di riferimento nel campo degli impianti termoelettrici di media e grande potenza. Il ciclo Hirn é vincolato da livelli di temperatura massima contenuti, ma ha il grande pregio di cedere calore in gran parte a temperature prossime a quella ambiente.
- La constatazione della vicinanza dei livelli di temperatura dei gas di scarico della turbina a gas con quelli massimi, tipici degli impianti a vapore, porta a considerare la possibilità di combinare i due impianti.
- Tutto questo non comporta modifiche sostanziali nei cicli di riferimento; da un punto di vista tecnologico non si richiedono consistenti modifiche o innovazioni.
- I problemi principali insorgono nel trasferimento di calore fra due fluidi con comportamenti diversi rispetto alla variazione di temperatura determinata dallo scambio di calore (gas perfetto e fluido con transizione di fase).

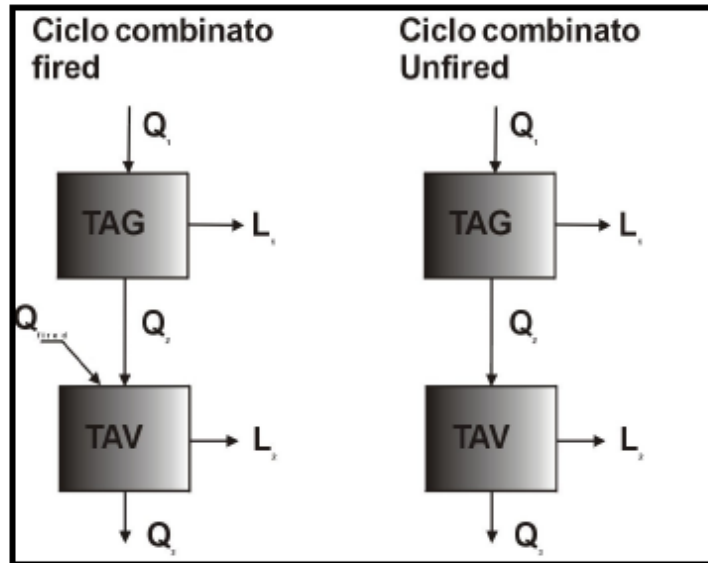
Cicli combinati –Unfired

- A fianco é rappresentato lo schema e il diagramma T-s di un ciclo combinato gas-vapore a recupero ("Unfired"), ovvero basato sul solo recupero del calore sensibile dei gas di scarico della turbina a gas.
- Il ciclo Turbogas viene denominato "Topper" o ciclo sovrapposto
- Il ciclo a vapore viene denominato "Bottomer" o ciclo sottoposto



Le entropie sono opportunamente scalate, nei due cicli, in modo che risultino corrispondenti i calori scambiati, (aree sottese alle trasformazioni)

Cicli combinati – Unfired/Fired - Rendimento



$$\eta_{TAG} = \frac{L_1}{Q_1}; \quad Q_2 = Q_1(1 - \eta_{TAG})$$

FIRED

$$\varepsilon = \frac{Q_{fired}}{Q_1}$$

$$\eta_{TAV} = \frac{L_2}{Q_2 + \varepsilon \cdot Q_1}$$

$$\eta_{com} = \frac{\eta_1}{1 + \varepsilon} + \eta_2 - \frac{\eta_1 \cdot \eta_2}{1 + \varepsilon}$$

UNFIRED

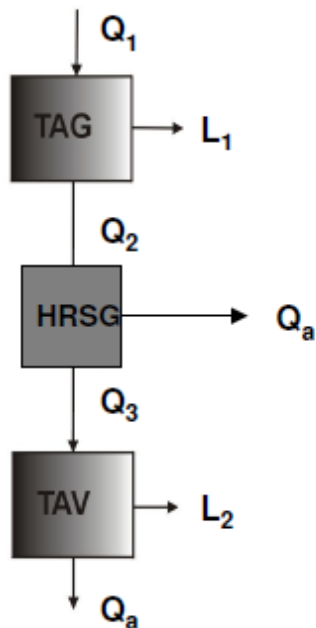
$$\eta_{TAV} = \frac{L_2}{Q_2}$$

$$\eta_{com} = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \cdot \eta_2$$

- Relazioni generali per il calcolo delle prestazioni di un ciclo combinato

Cicli combinati – Rendimento caldaia a recupero

Ciclo combinato
Unfired



- E' necessario considerare nell'impianto l'effetto della caldaia a recupero (HRSG), che di fatto non consente il trasferimento di tutto il calore Q_2 all'impianto a vapore, rilasciandone una certa frazione direttamente nell'ambiente con la portata al camino.

- Il rendimento della caldaia a recupero risulta

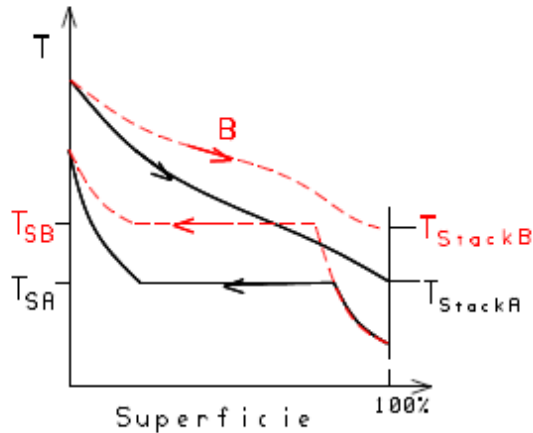
$$\eta_{HRSG} = \frac{Q_3}{Q_2} = \frac{T_4 - T_{st}}{T_4 - T_1}$$

e le relazioni viste prima diventano

$$\eta_{com} = \eta_1 + \eta_{HRSG} \cdot \eta_2 - \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_{HRSG}$$

- Il rendimento dell'impianto combinato dipende dalle prestazioni complessive del gruppo caldaia a recupero/ciclo sottoposto η_{HRSG}/η_2 .
- Le temperature di scarico delle turbine a gas variano entro i 400 - 600°C e la temperatura T_{st} al camino tende a 150-90°C, quindi il valore di η_{cr} si situa attorno a 0.7 - 0.8.

Cicli combinati – Monopressione - Ottimizzazione



- Per **migliorare** η_{HRSG} bisogna abbassare la temperatura al camino T_{st} , ovvero:
 - eliminare qualsiasi rigenerazione interna al ciclo sottoposto a vapore (spillamenti), che condurrebbe acqua preriscaldata al generatore di vapore; l'acqua deve arrivare, se possibile, dal condensatore
 - adottare valori molto contenuti della differenza di temperatura al Pinch Point.
 - scegliere bassi valori della pressurizzazione del ciclo sottoposto, in modo da avere una temperatura di saturazione più bassa.
- Basse pressioni del vapore determinano però rendimenti η_2 contenuti per il ciclo a vapore; il recupero di calore è esteso, ma il suo utilizzo è inefficiente.
- Per **massimizzare il prodotto** $\eta_{HRSG}\eta_2$, si ricorre al frazionamento in più livelli di pressione della transizione di fase, contenendo le irreversibilità nello scambio termico.

➤ Ciclo combinato ad un livello di pressione

