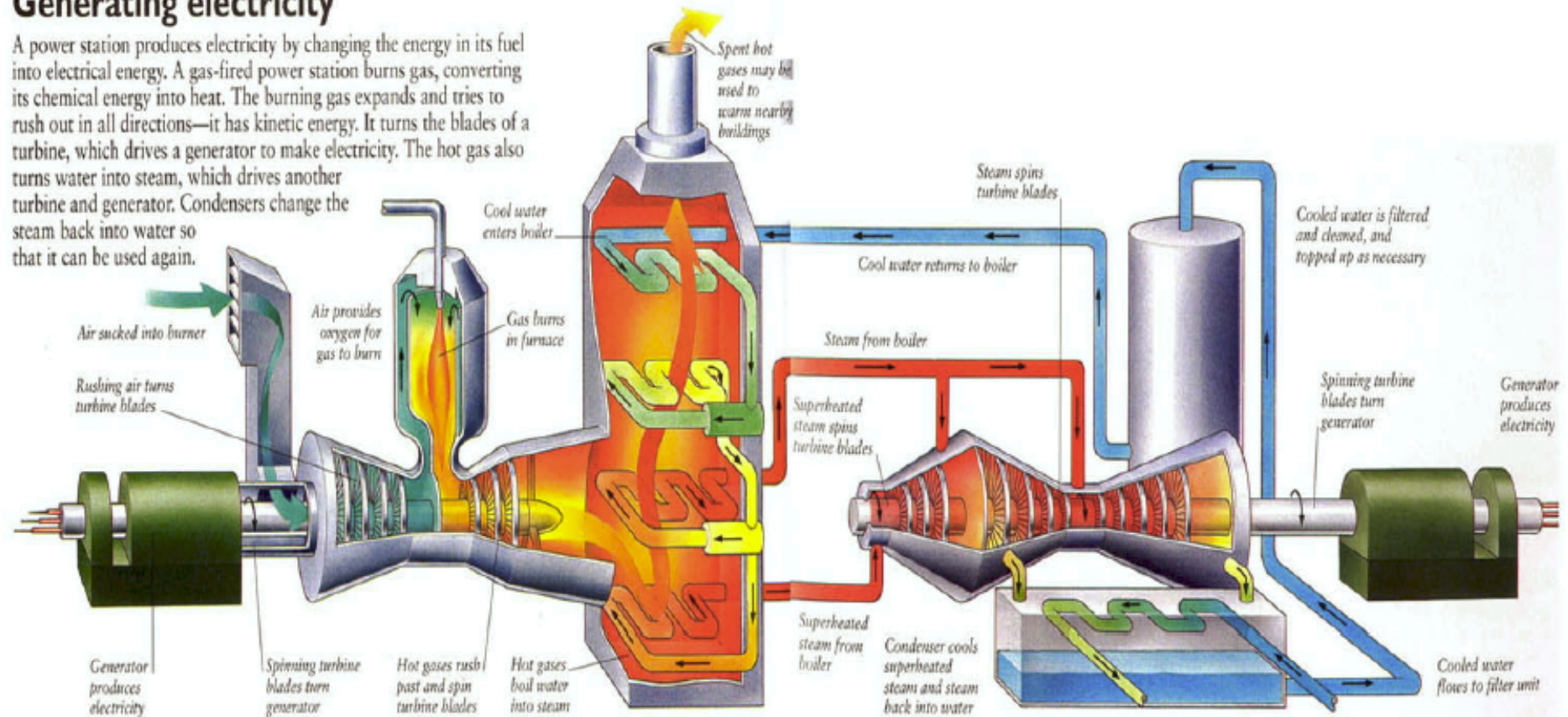


Cicli combinati gas-vapore

Introduction

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.

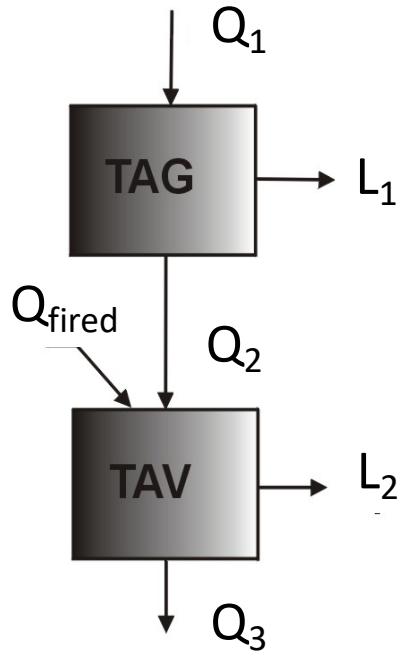


Introduction

- Utilizzo del calore scambiato alla sorgente inferiore di ciclo con TAG per la produzione di ulteriore energia elettrica (incremento del rendimento termodinamico globale)
- Possibilità di sfruttare i gas di scarico di un gruppo turbogas fino a portarlo a temperature prossime a quella atmosferica.
- Il ciclo a vapore (Hirn-Rankine):
 - Livelli standard di temperatura massima contenuti,
 - Cessione del calore a temperature prossime a quella ambiente.
- Ciclo Joule
 - Alte temperature massime di ciclo
 - Temperature di scarico a fine espansione medio alte
- Buon accordo fra i livelli di temperatura di scarico della turbina e quelli massimi del ciclo a vapore: combinazione dei due impianti.
- Problemi nel trasferimento di calore fra due fluidi caratterizzati da comportamenti completamente diversi rispetto alla variazione di temperatura determinata dallo scambio di calore stesso (gas e fluido bifasico).

Efficiency

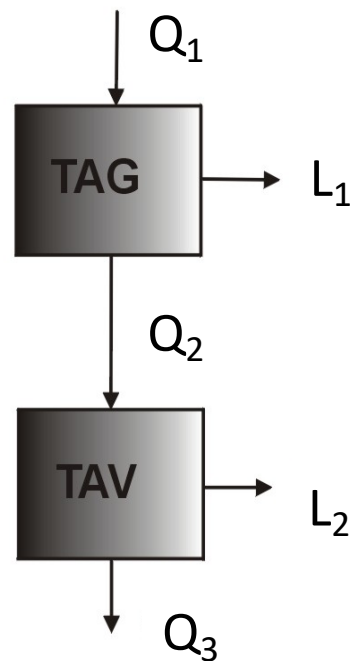
Ciclo combinato
fired



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

$$\eta_{TAV} = \frac{L_2}{Q_2}; \quad \frac{Q_3}{Q_2} = (1 - \eta_{TAV})$$

Ciclo combinato
Unfired



$$(1 - \eta_{com}) = \frac{Q_3}{Q_1} = \frac{Q_3}{Q_2} \cdot \frac{Q_2}{Q_1} = (1 - \eta_{TAV})(1 - \eta_{TAG})$$

UNFIRED

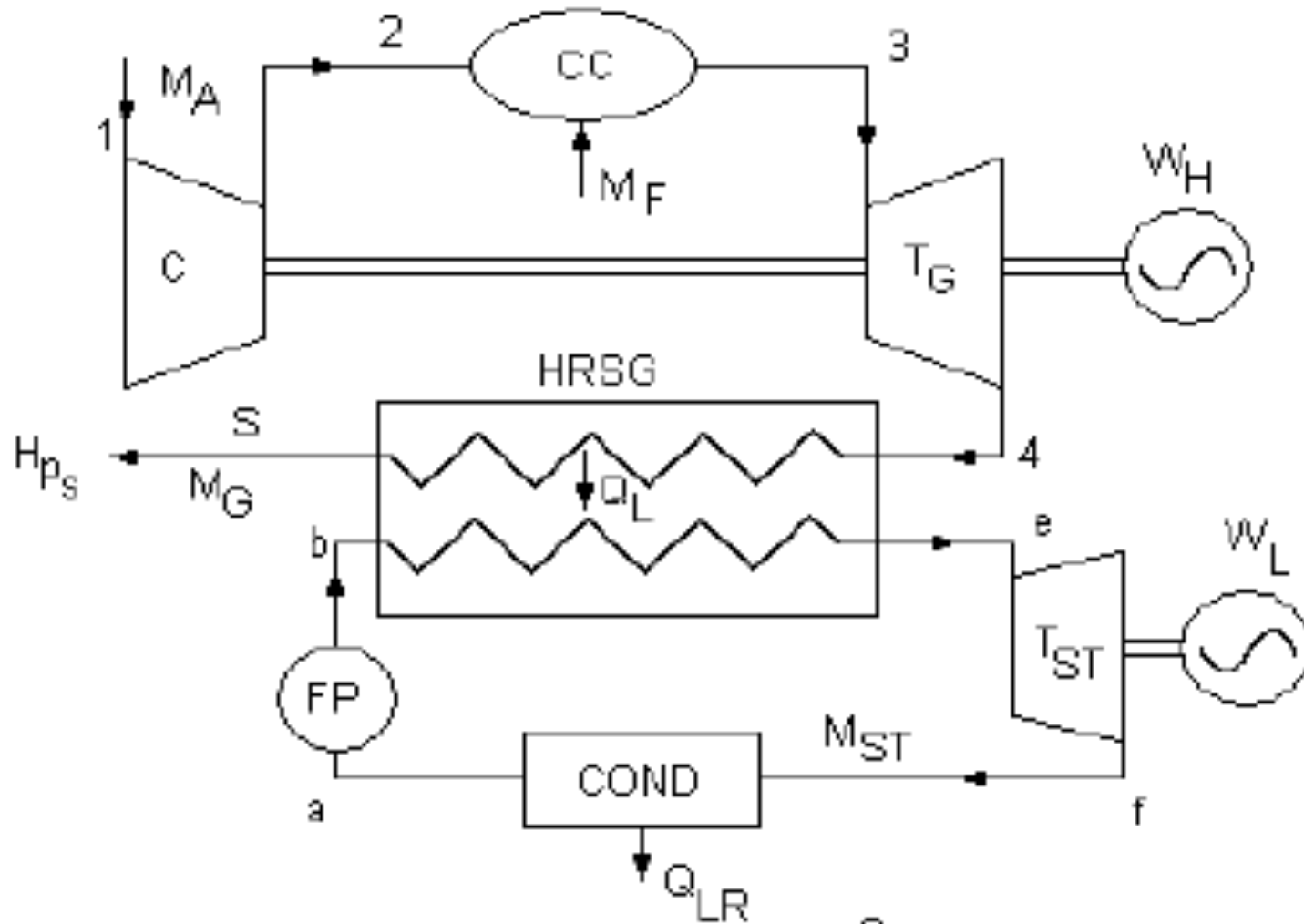
$$\eta_{com} = \eta_{TAV} + \eta_{TAG} - \eta_{TAV} \cdot \eta_{TAG}$$

FIRED

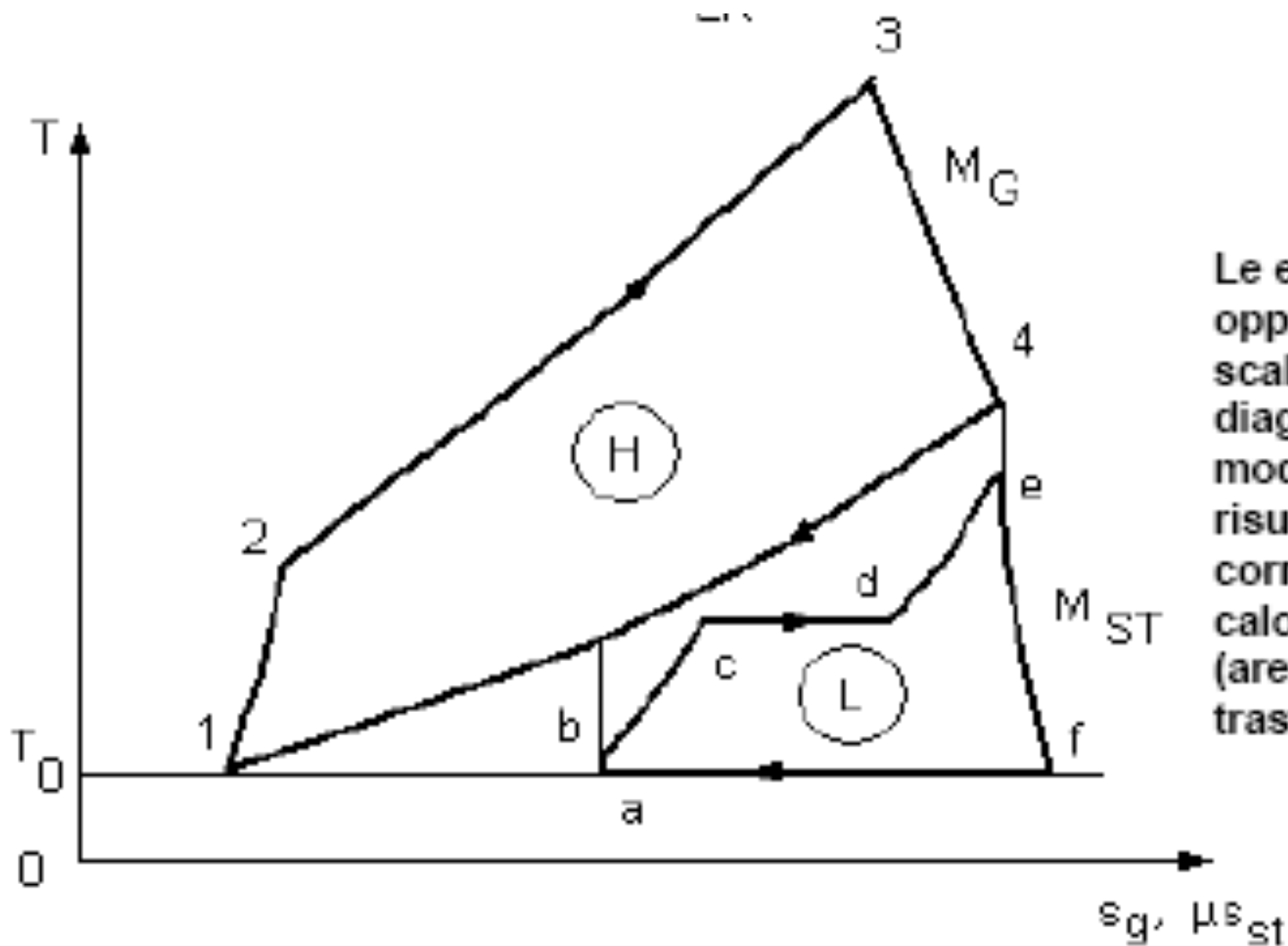
$$\varepsilon = \frac{Q_{fired}}{Q_1} \quad \eta_{TAV} = \frac{L_2}{Q_2 + \varepsilon \cdot Q_1}$$

$$\eta_{com} = \frac{\eta_{TAG}}{1 + \varepsilon} + \eta_{TAV} - \frac{\eta_{TAG} \cdot \eta_{TAV}}{1 + \varepsilon}$$

Joule/Hirn Cycle

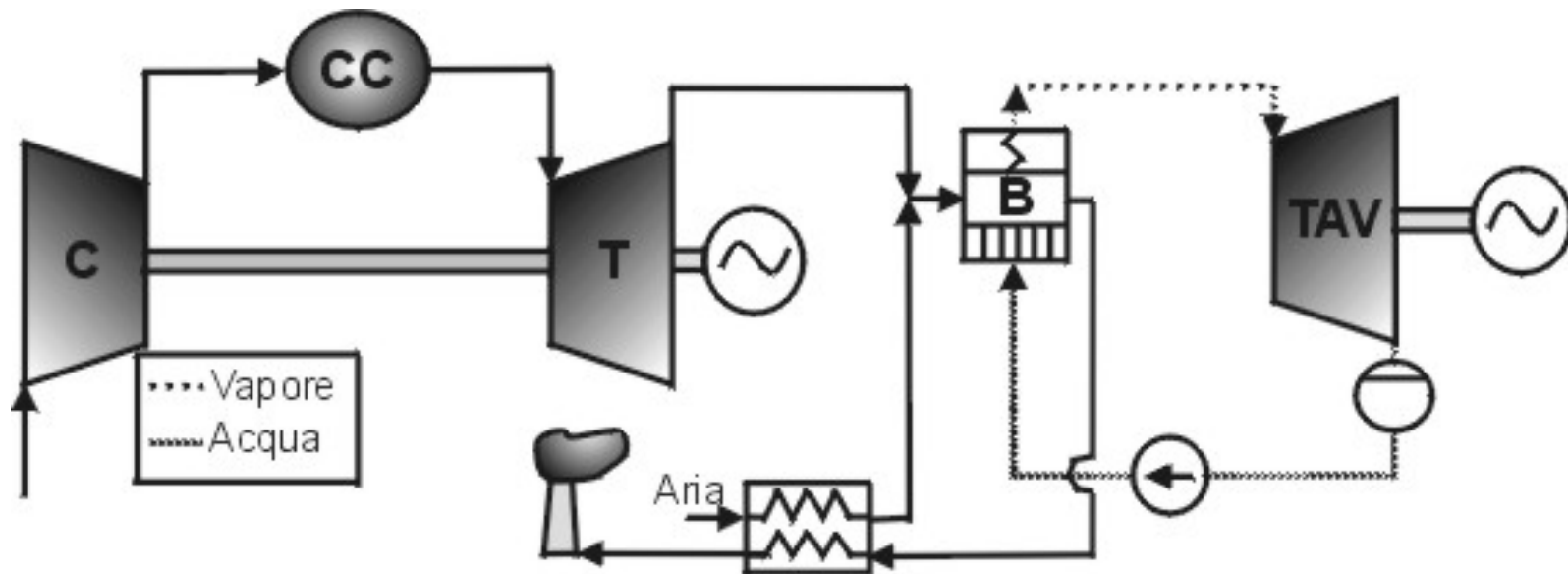
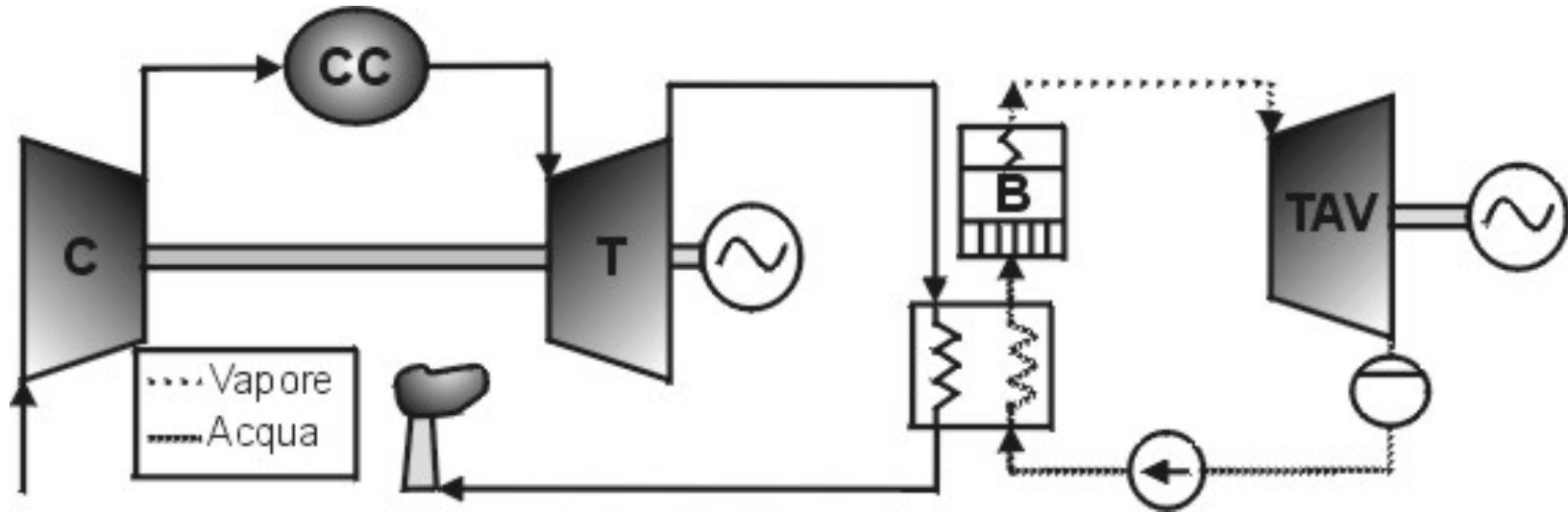


Joule/Hirn Cycle

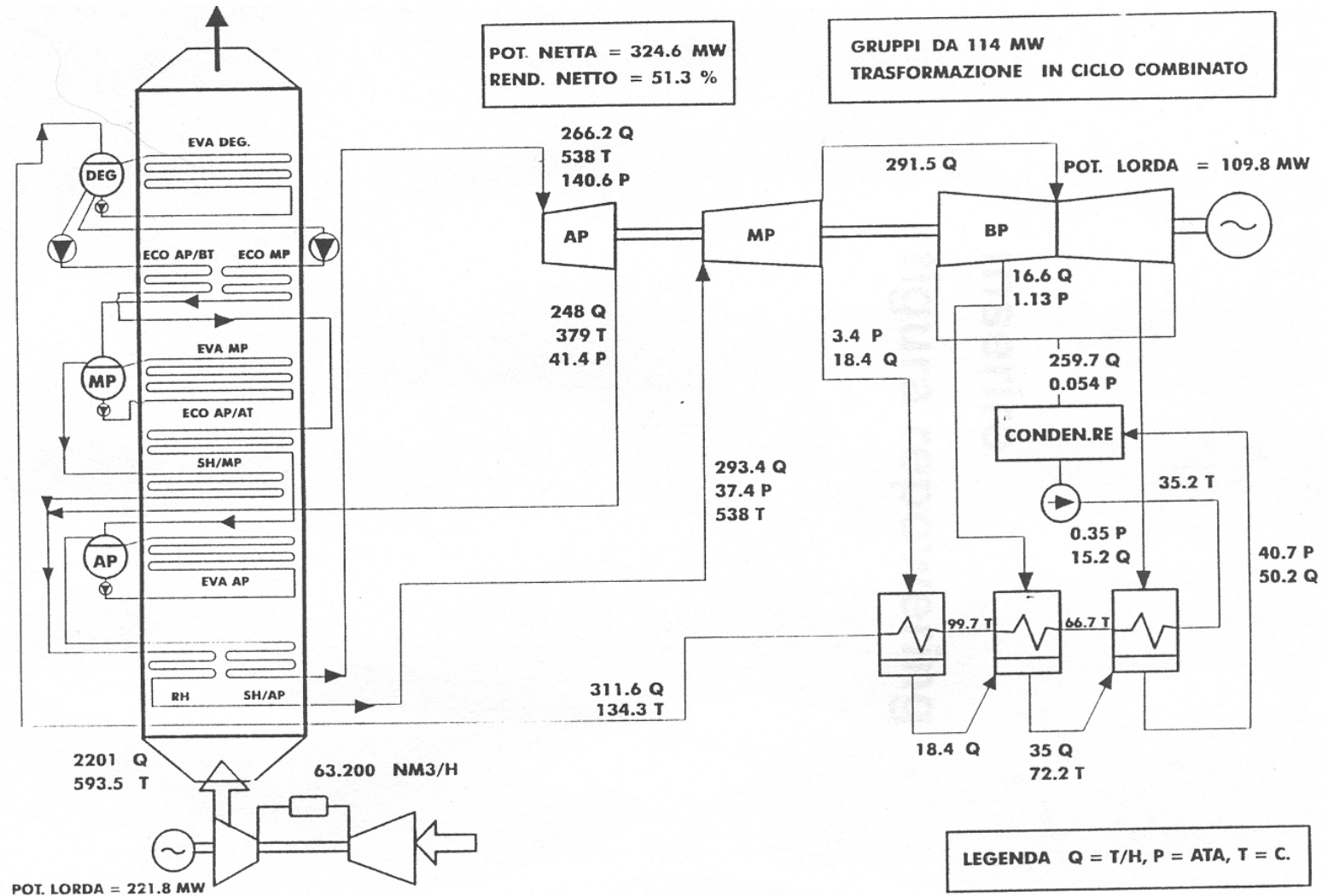


Le entropie sono opportunamente scalate, nei due diagrammi, in modo che risultino corrispondenti i calori scambiati, (aree sottese alle trasformazioni)

Repowering

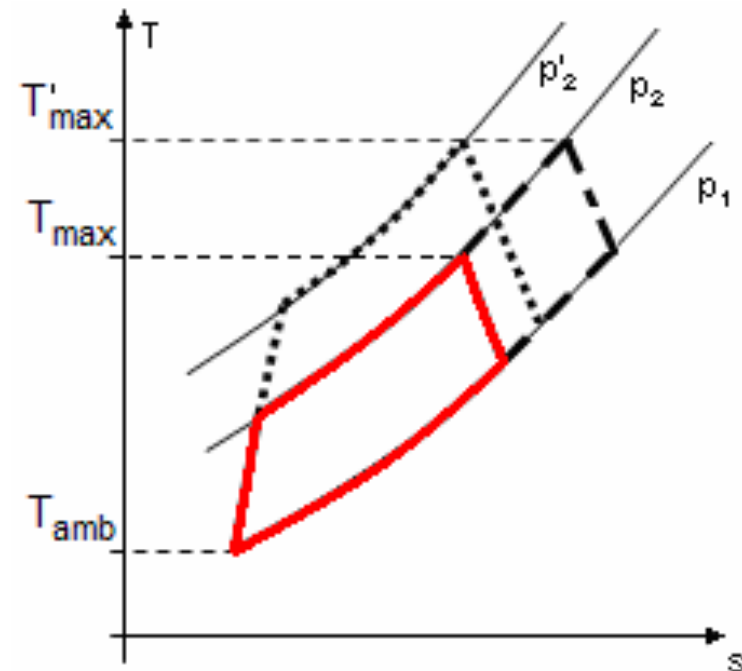


Combined Cycle

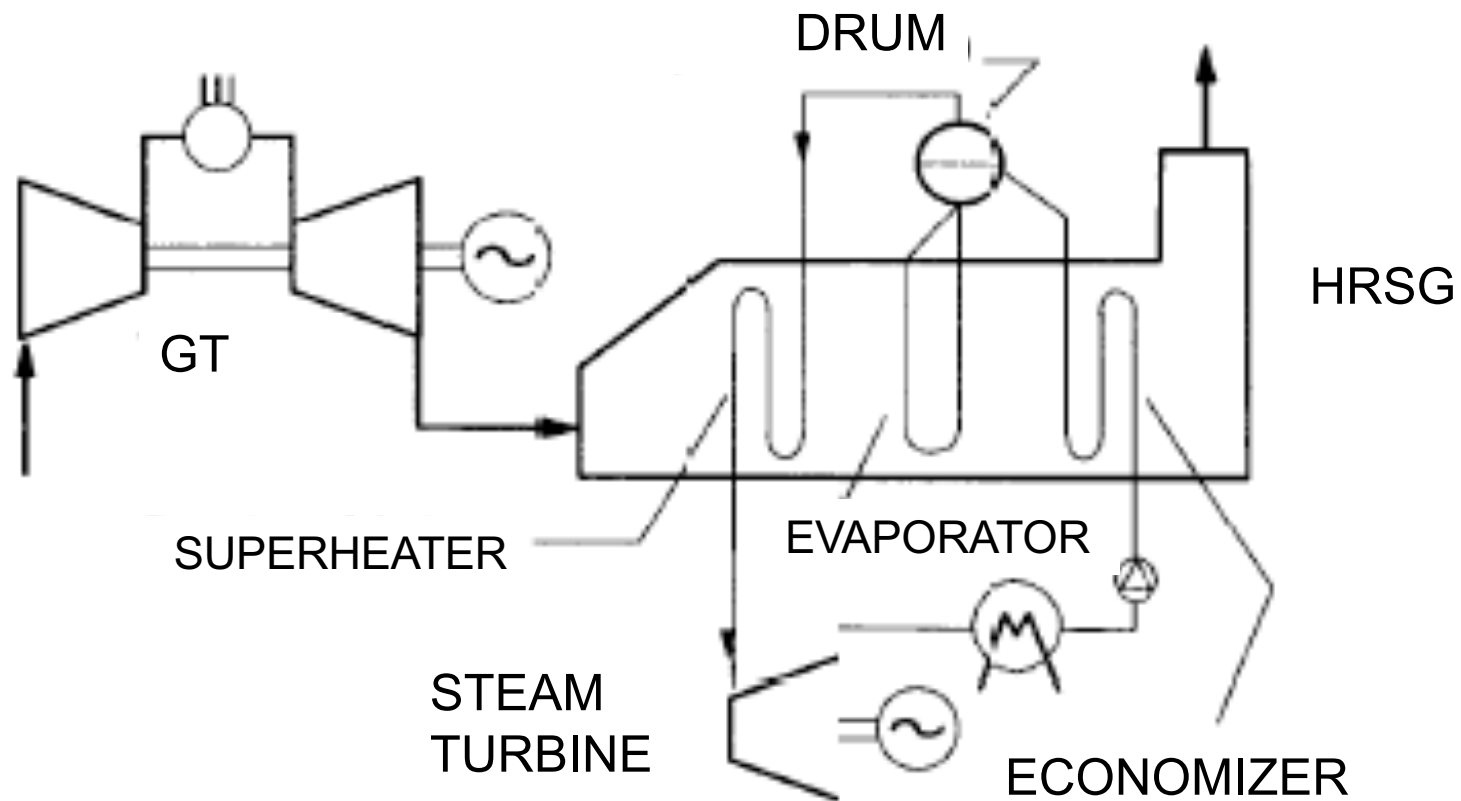


Influence of GT performance

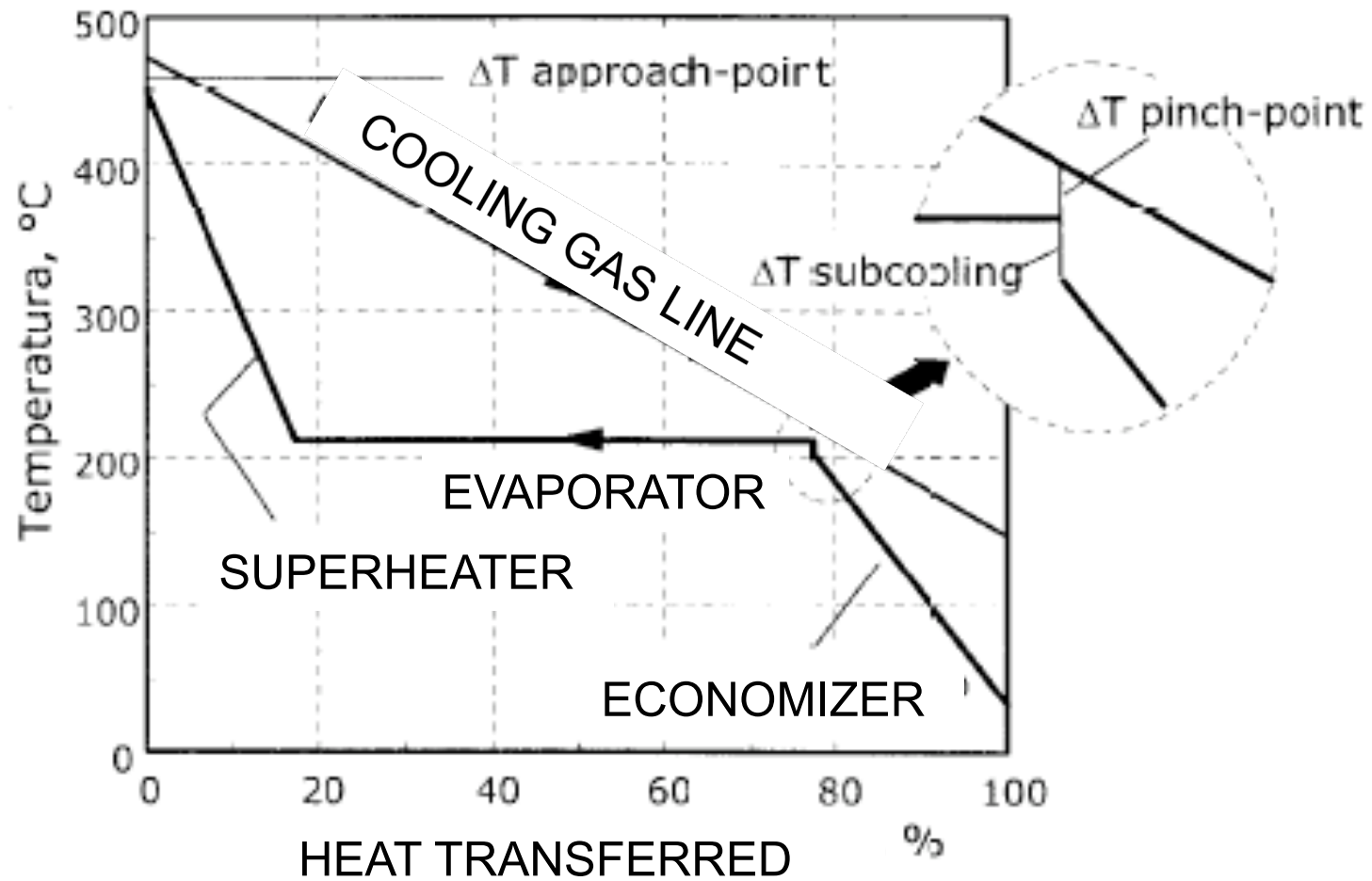
- Per migliorare la potenza specifica e l'efficienza delle turbine a gas si punta a rapporti di compressione e temperature massime sempre più alti
- Le prestazioni del ciclo bottomer dipendono strettamente dalla temperatura di scarico della turbina a gas
- Alte temperature massime di ciclo (*1100-1500 °C*), ma il rapporto di compressione della turbina limitati per non penalizzare il ciclo a vapore (10-20).



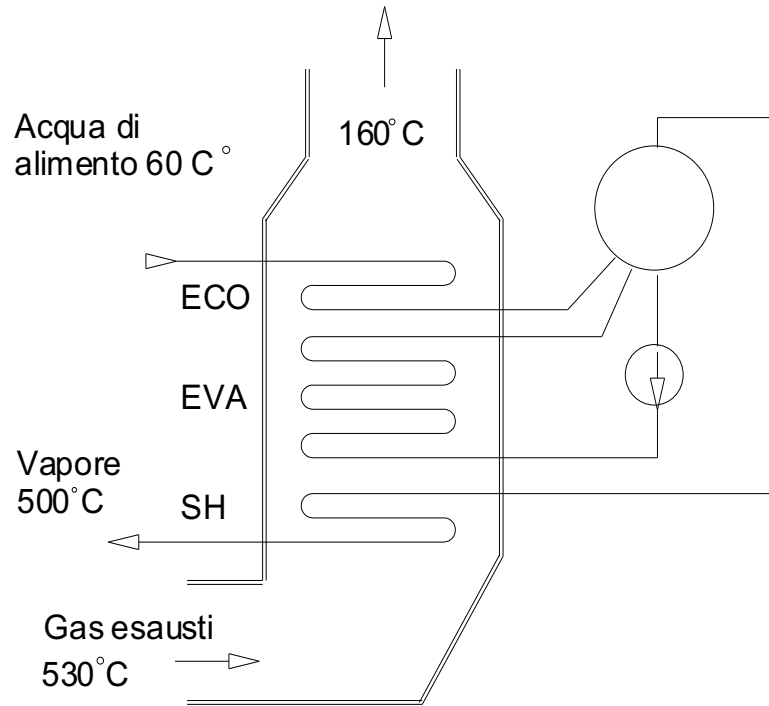
Gas steam combined cycle



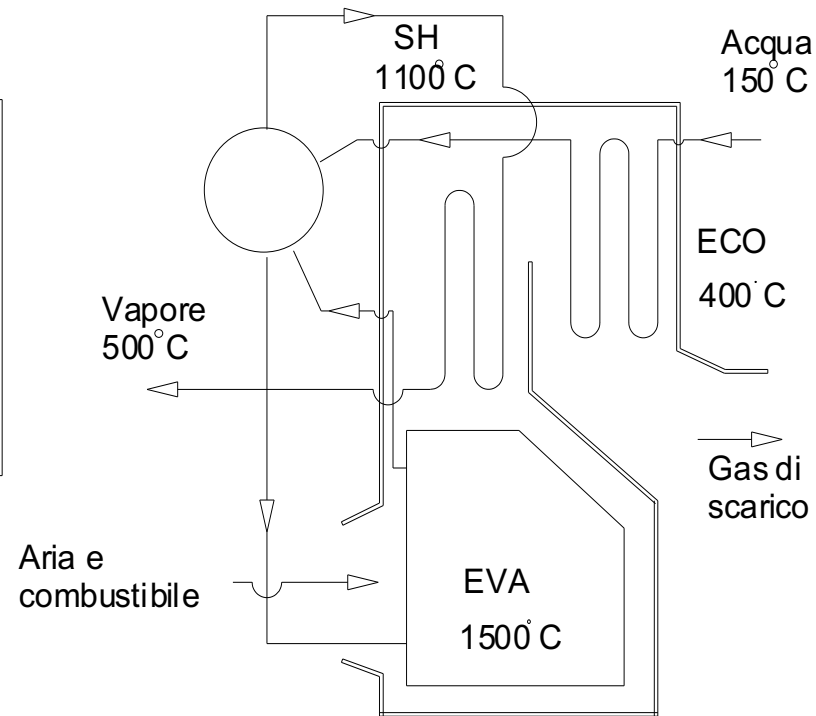
Temperature profiles



HRSG – Boiler Comparison



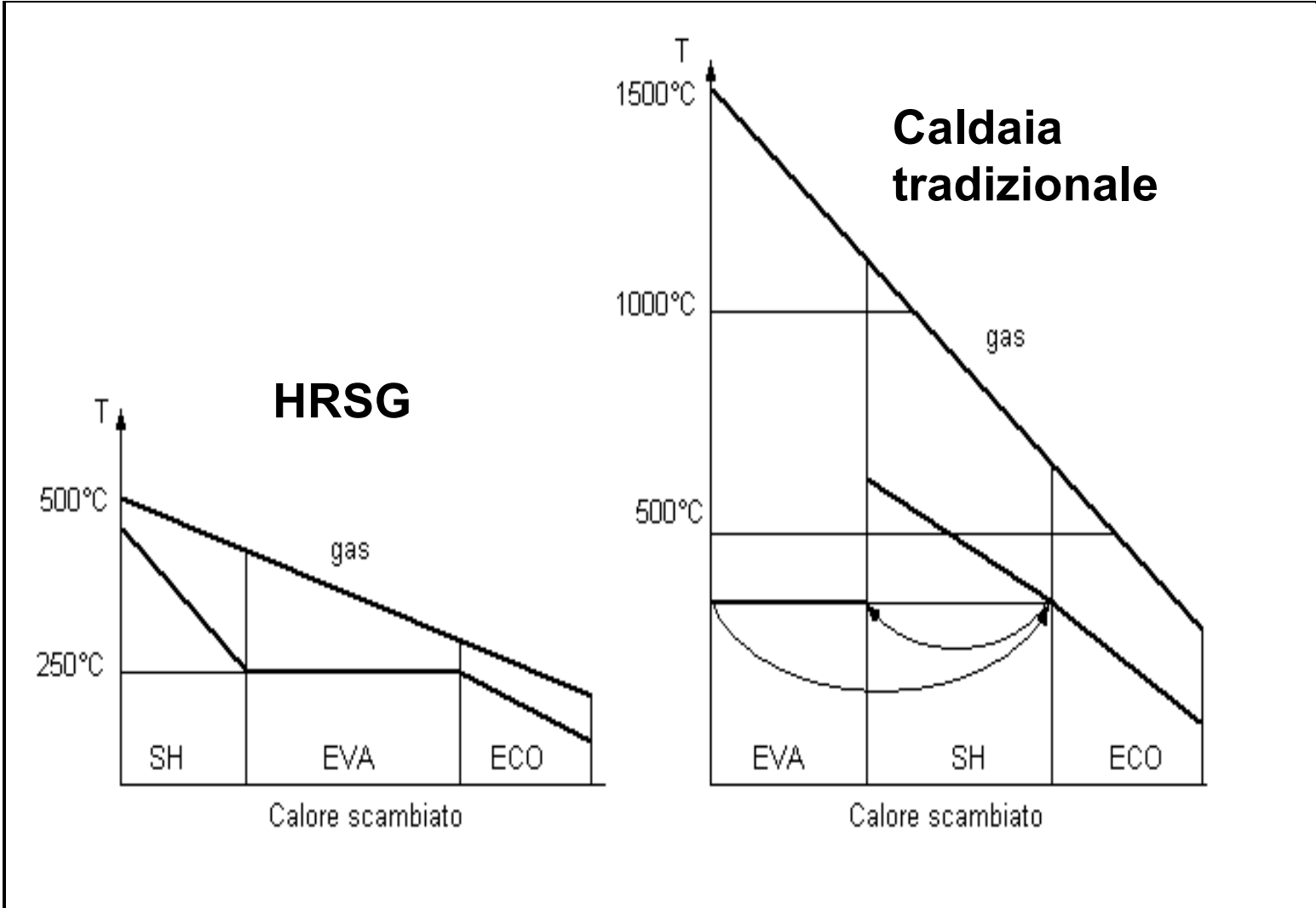
HRSG a circolazione assistita
senza postcombustione
ad un livello di pressione



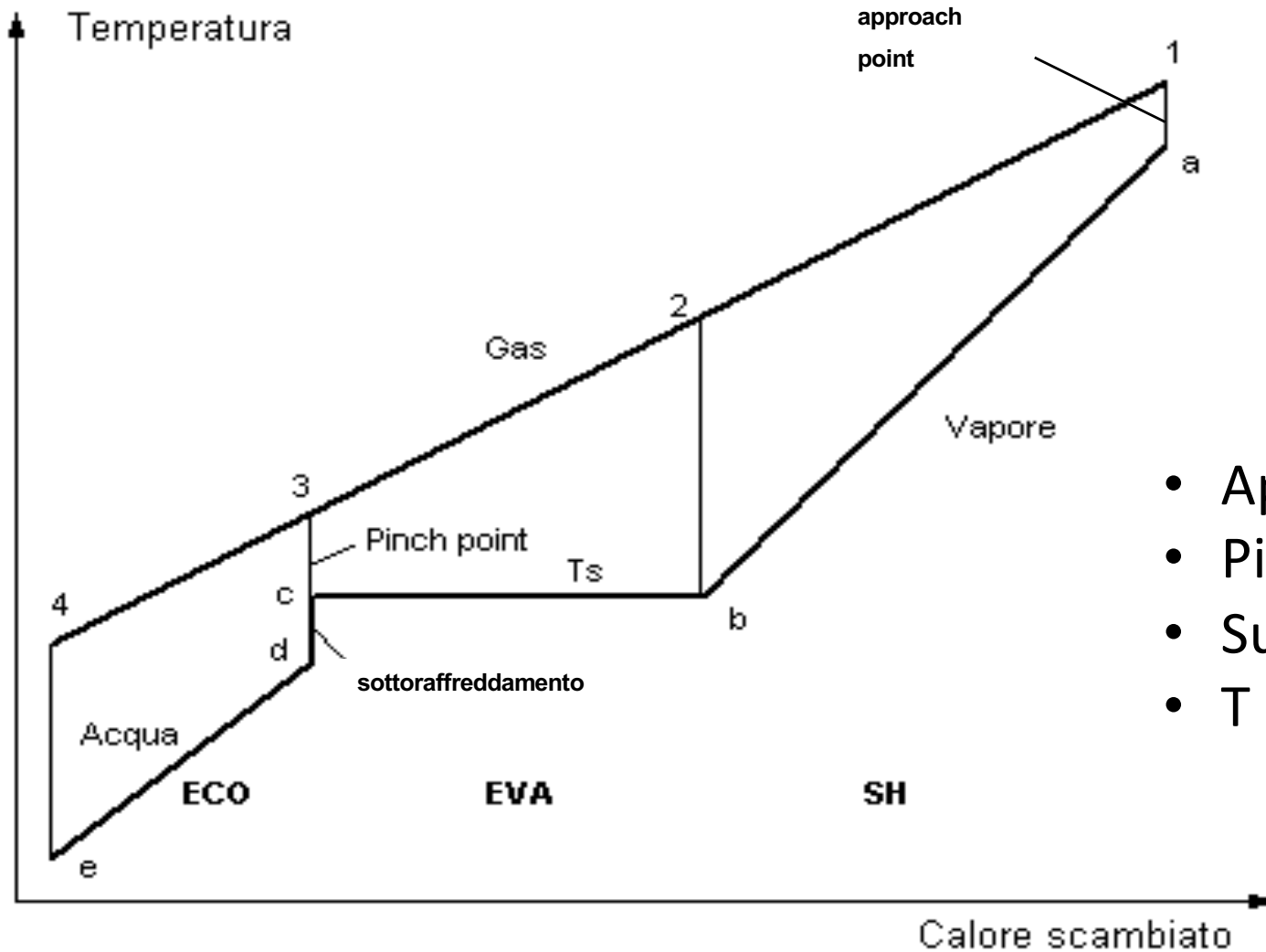
Caldaia tradizionale
a circolazione naturale

Parametro	HRSG	Caldaia tradizionale
Portata dei gas [t/h/MW]	17 - 28	7 - 10
Superfici scambio [m ² /MW TAV]	800 - 1300	60 - 80
Volume caldaia [m ³ /MW TAV]	70 - 100	50 - 65

HRSG – Boiler Comparison



Temperature profiles



- Approach
- Pinch point
- Subcooling
- T stack

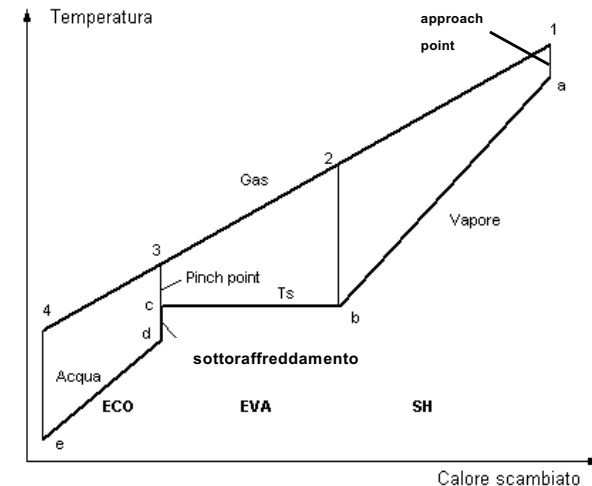
HRSG balance

- Equilibrio energetico dell'evaporatore e surriscaldatore (non considerando il sottoraffreddamento) noti DT_{PP} e DT_{AP} e la pressione di lavoro

$$m_g c_{p-gas} (T_1 - T_3) = m_v [h_v (T_1 - DT_{AP}) - h_v (T_3 - DT_{PP})]$$

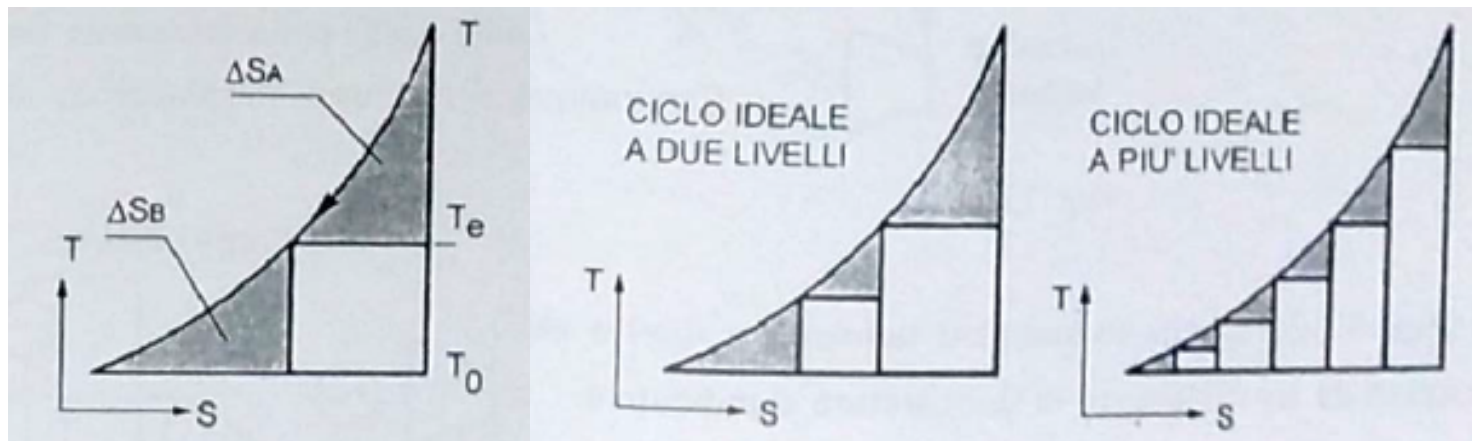
- Verifica della temperatura al camino eseguendo il bilancio nella parte terminale del HRSG

$$m_g c_{p-gas} (T_3 - T_4) = m_v [h_v (T_3 - DT_{PP}) - h_v (T_e)]$$

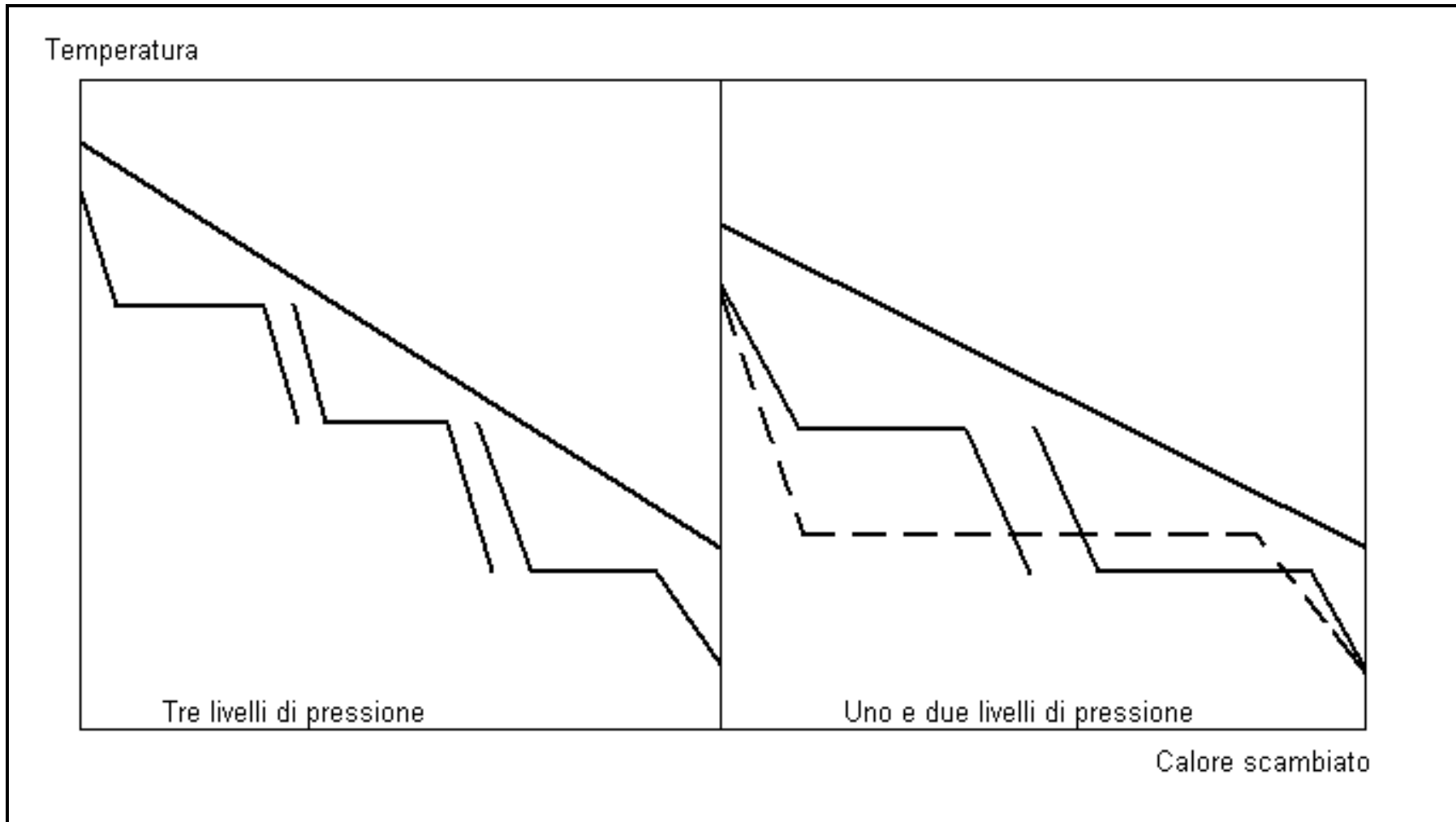


Highlights

- La quantità di vapore prodotta dipende dai valori di pinch point ed approach (ma anche dalla pressione...). Questi parametri vincolano anche la temperatura al camino e quindi l'efficienza complessiva)
- Pressione generalmente compresa tra i 30 e i 70 bar, temperature al camino molto alte (c.a. 170°C) ed efficienze contenute (46-48%)
- Sarebbe desiderabile avere temperature ai due lati dello scambiatore più vicine possibile per ridurre le perdite di scambio
- Necessità di conoscere dove avviene il cambiamento di fase
- Adozione di più livelli di pressione

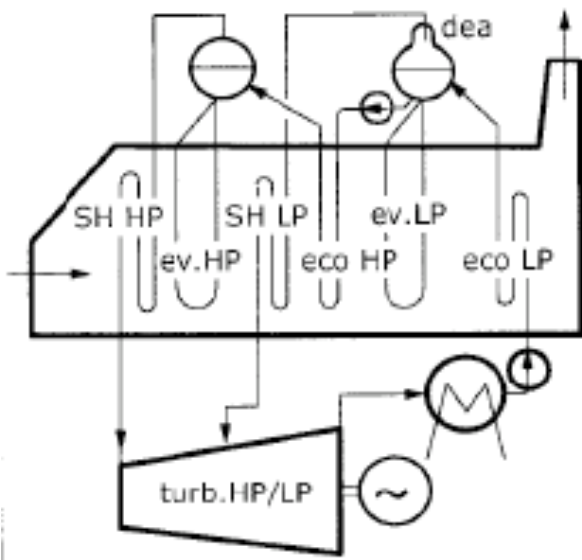


Multiple pressure levels

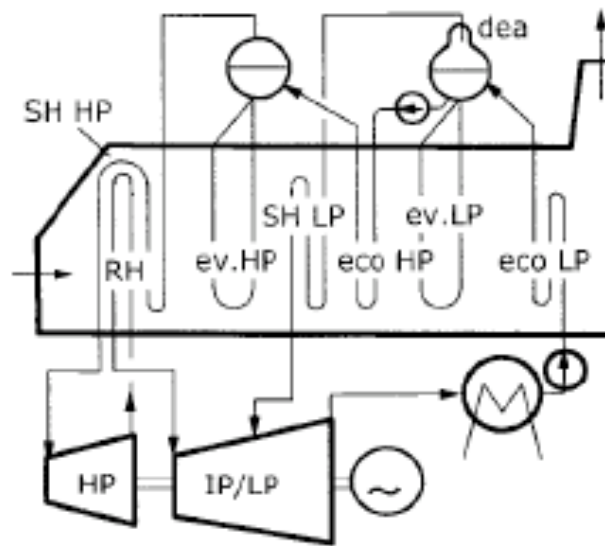


2 pressure levels

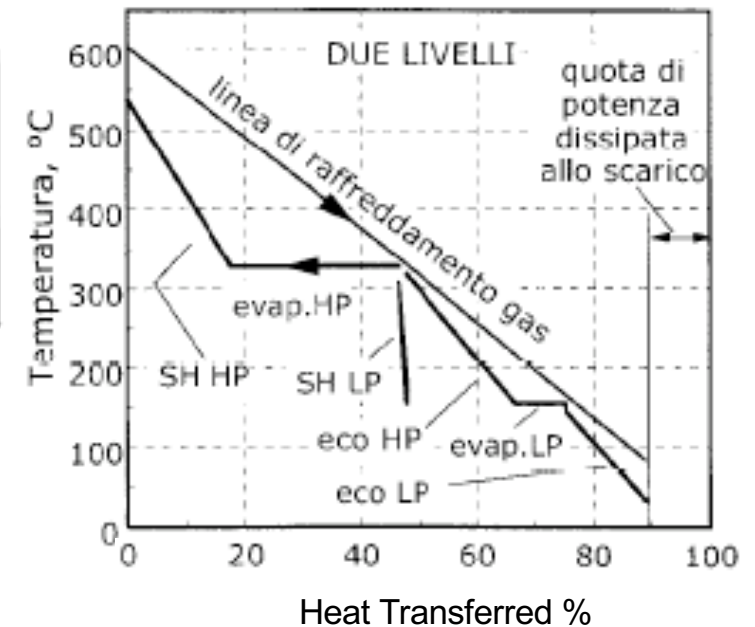
- Due pressioni di lavoro distinte (5-10 bar e intorno ai 70 bar)
- Riduzione della temperatura al camino
- Efficienze intorno a 49-52%
- Possibile re-heat



CICLO A DUE LIVELLI (senza RH)

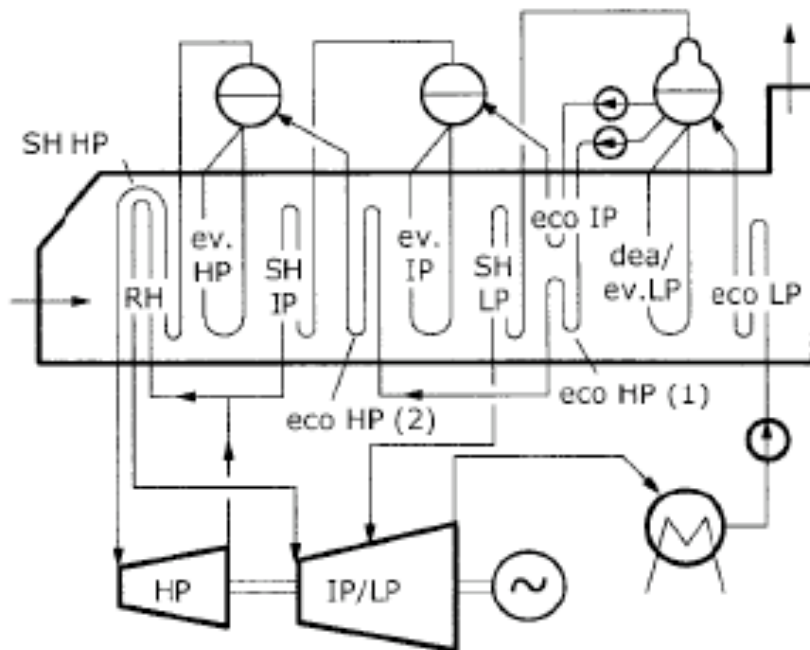


CICLO A DUE LIVELLI CON REHEAT

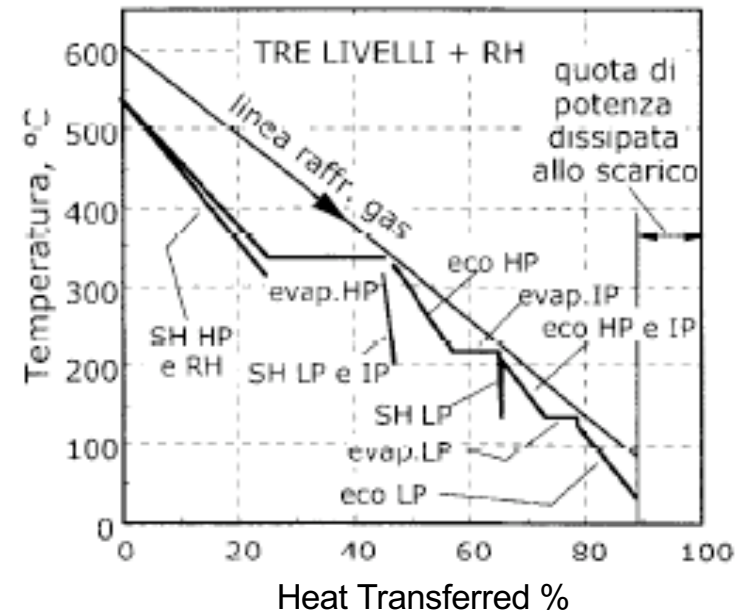


3 pressure levels

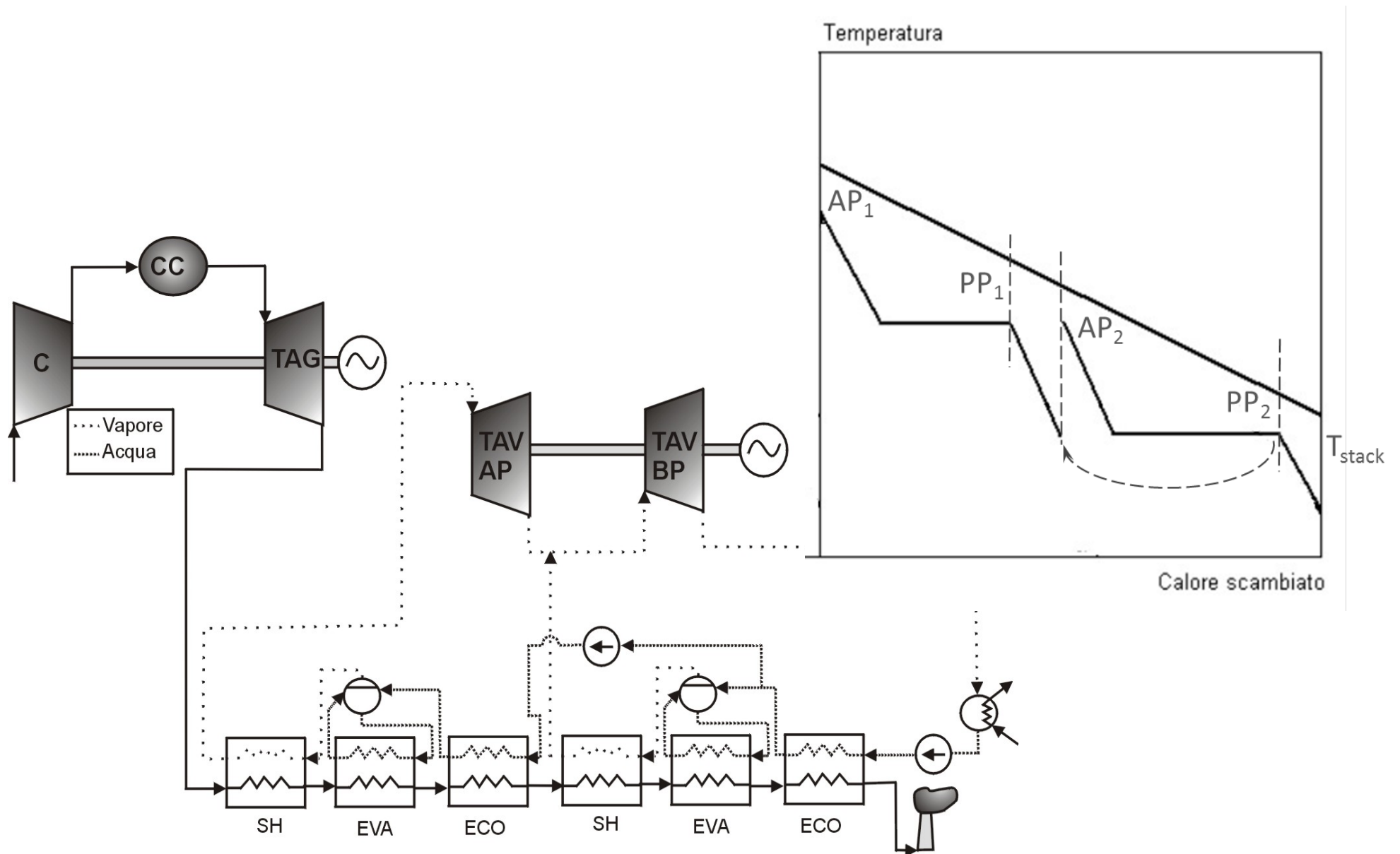
- 3 pressioni distinte, il terzo livello può aggirarsi sui 180 bar
- Basse temperature al camino (intorno ai 100°C, utilizzo di comb. pregiati)
- Efficienze molto elevate che possono raggiungere valori intorno al 60% (in configurazione re-heat)



**CICLO A TRE LIVELLI
CON REHEAT**

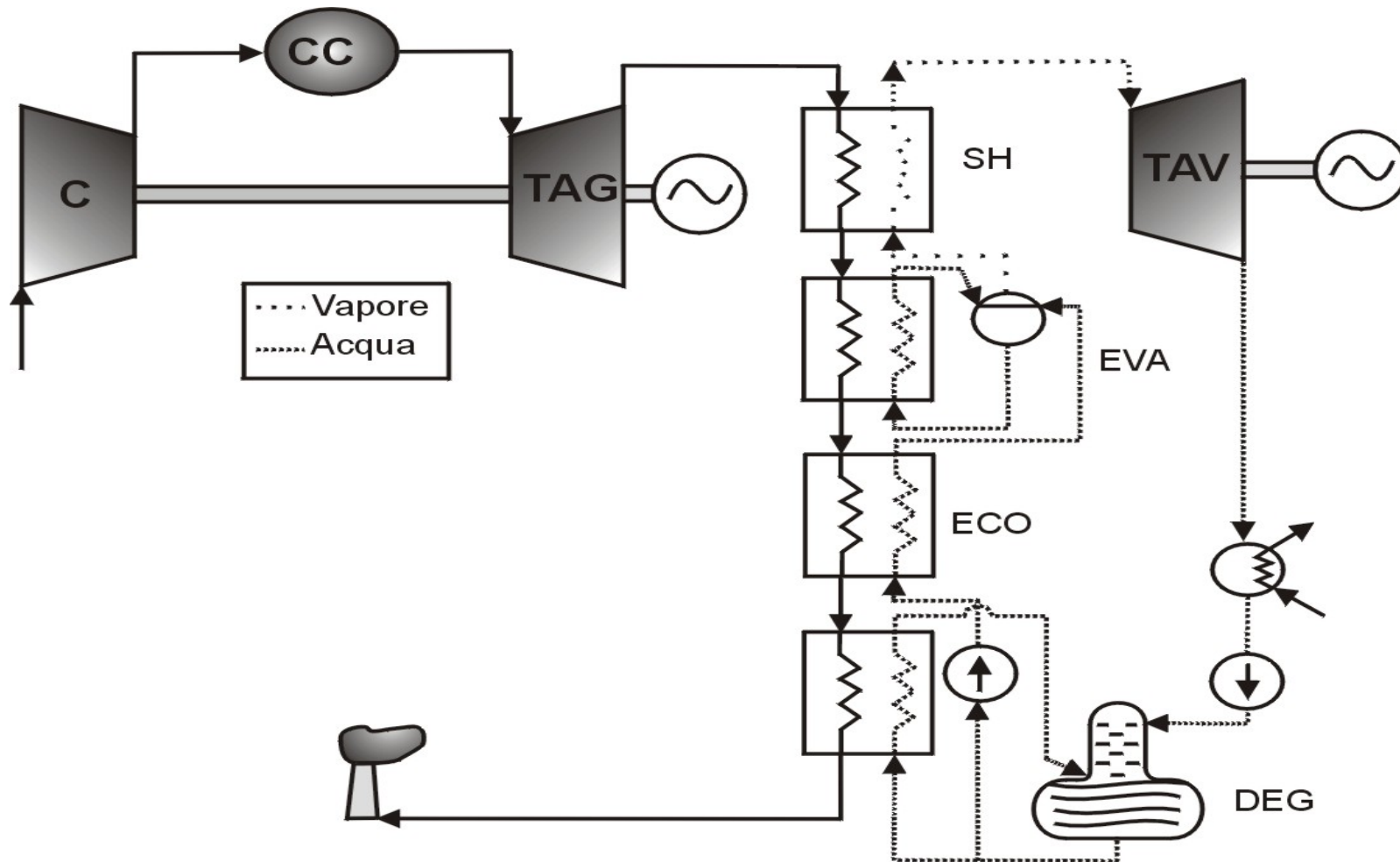


HRSGB balance - 2PL

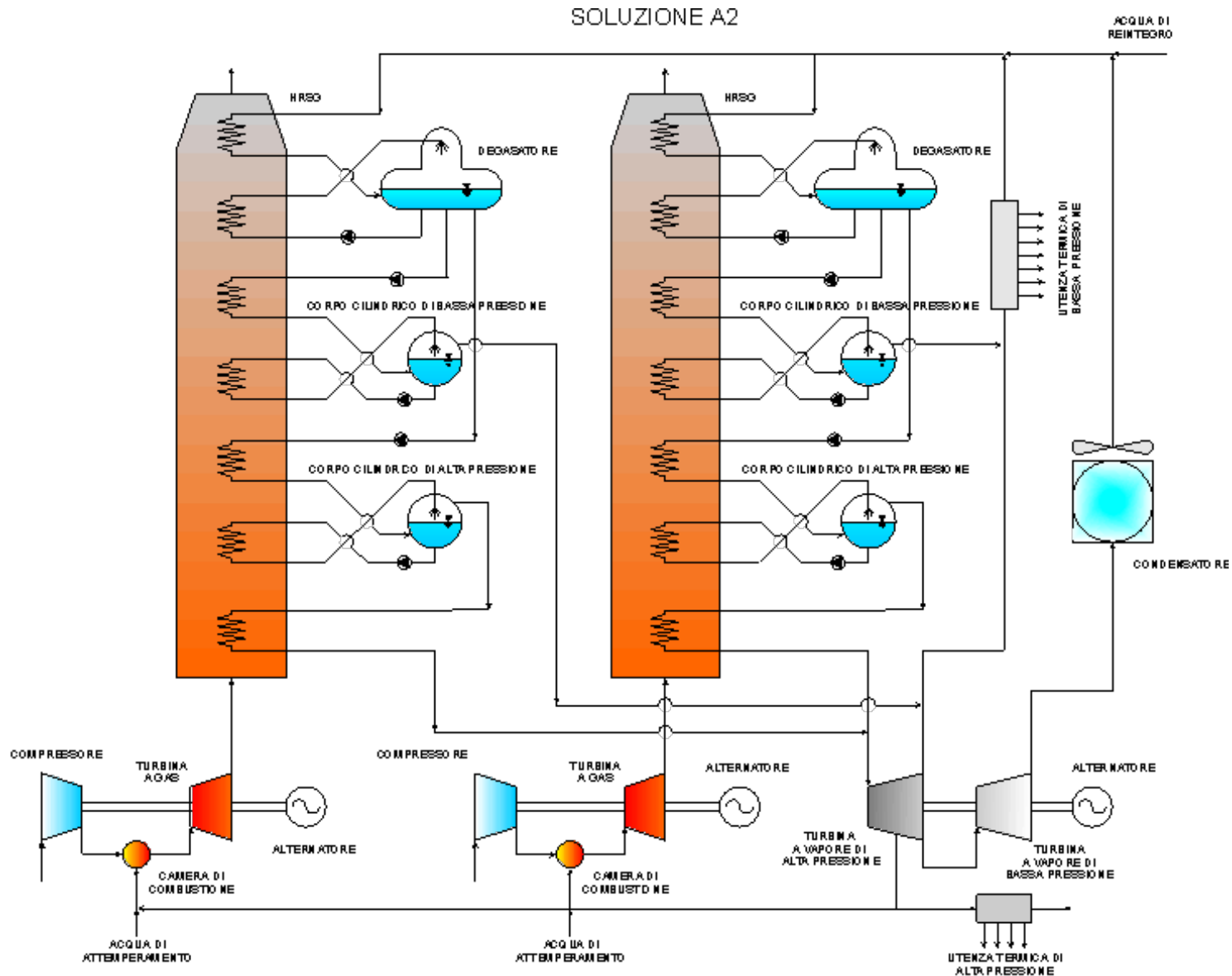


Separate deareator

- Separate deareator as an additional pressure level

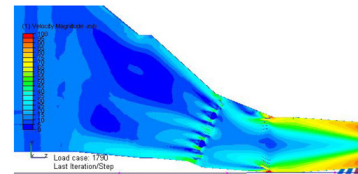
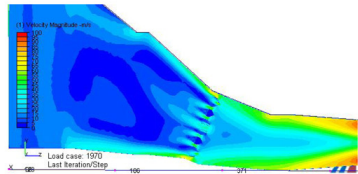


Multiple HRSG

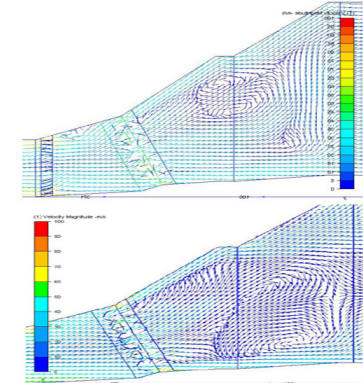


HRSG

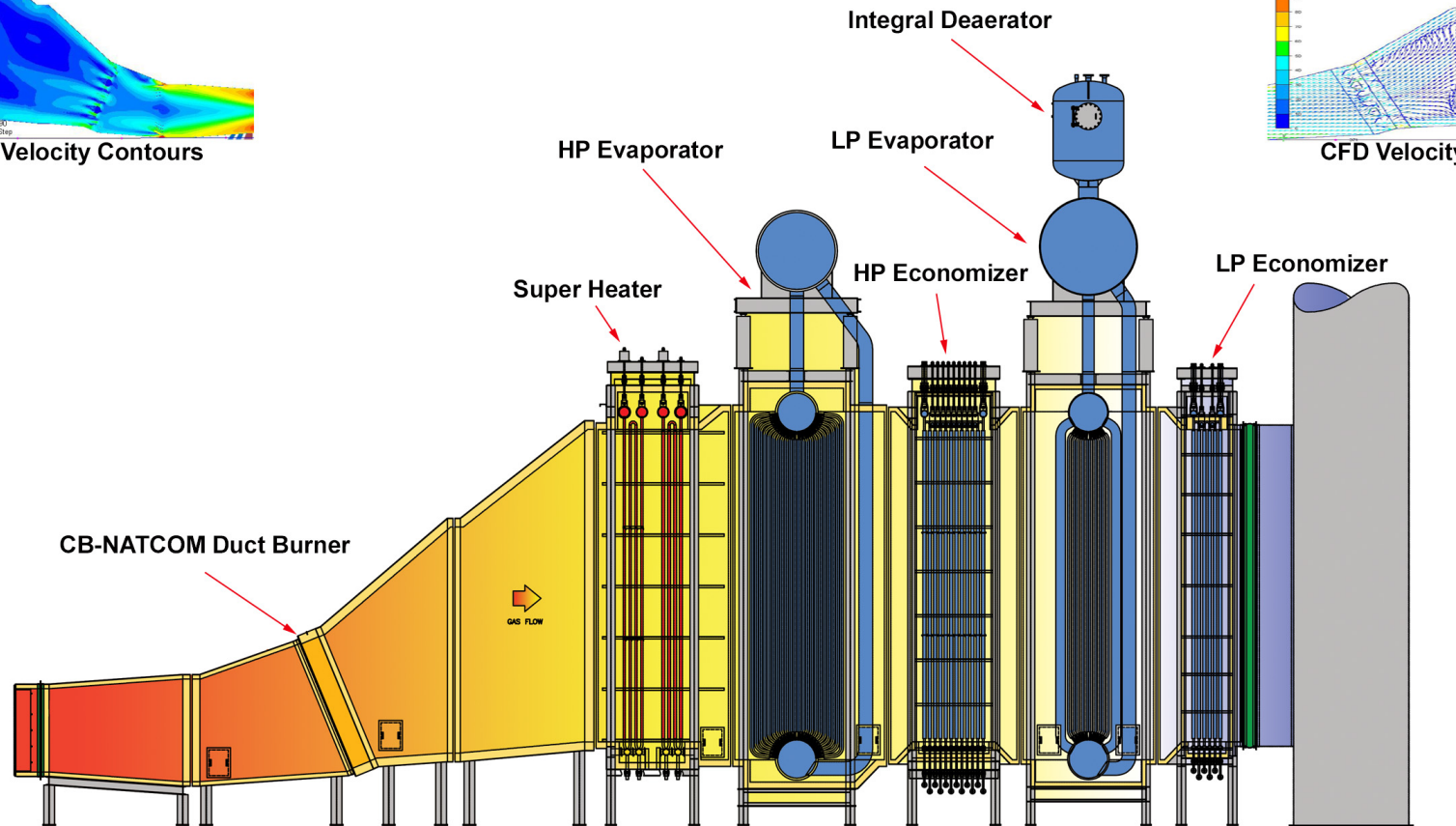
Modular HRSG



CFD Velocity Contours



CFD Velocity Vectors

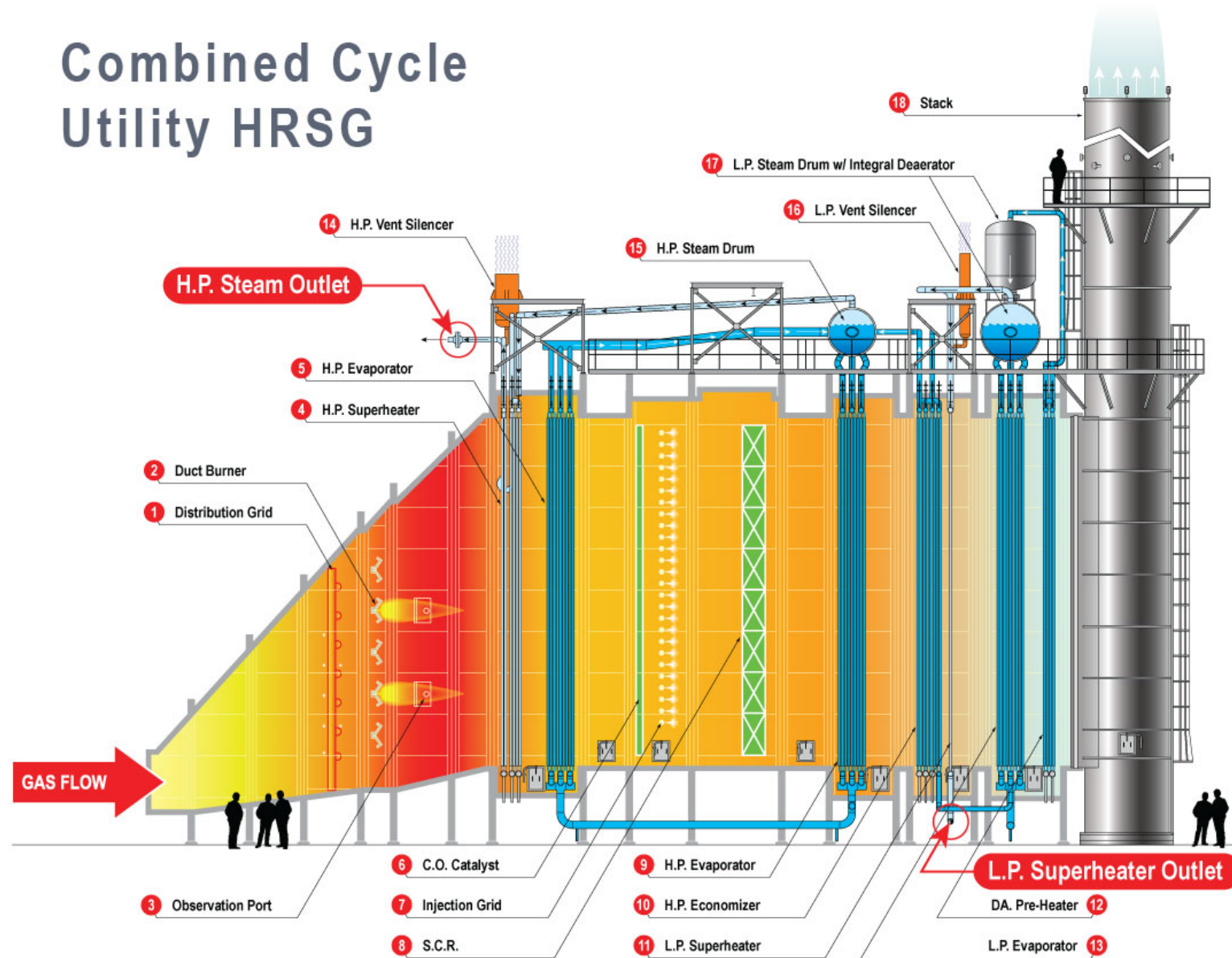


HRSG

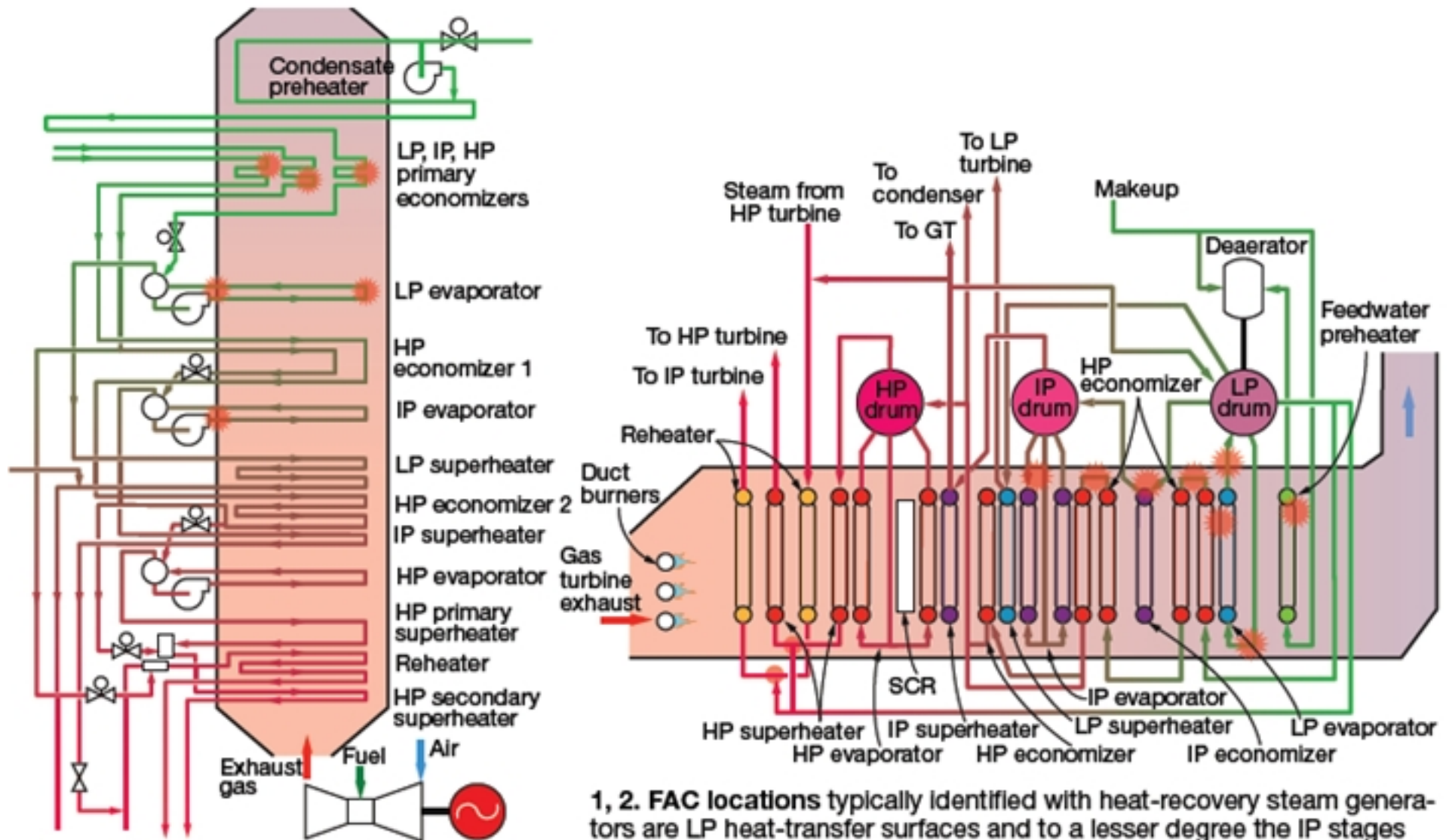


HRSG

Combined Cycle Utility HRSG



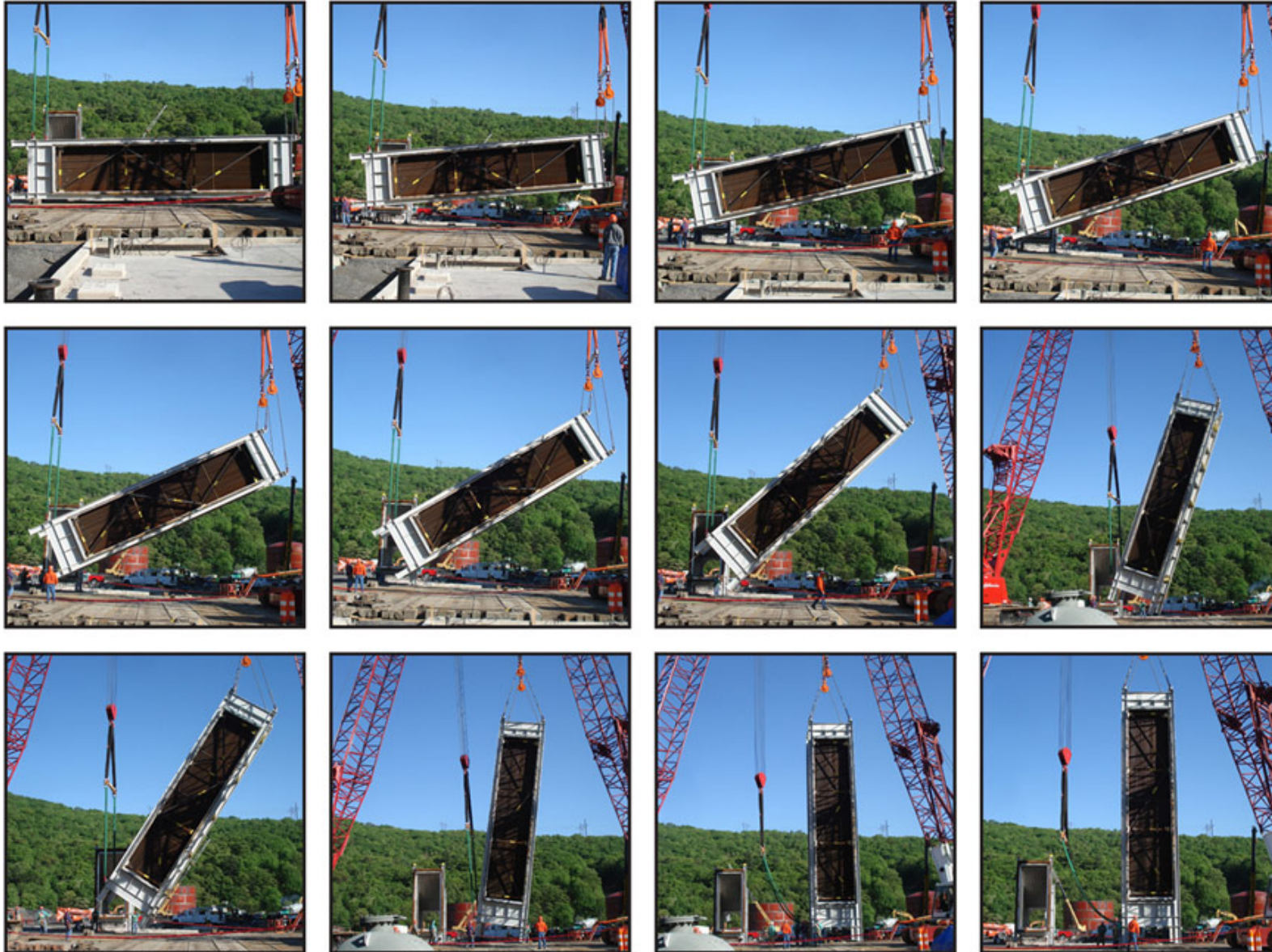
HRSG



HRSG



Installation of an HRSG



Porcari power plant



- Ciclo Combinato con 2 turbogas (TG1 e TG2) con alternatori (G1 e G2) + generatore a vapore a recupero (GVR1 e GVR2) + turbina a vapore (TV) con alternatore (G3)
- Gas naturale da Rete SNAM
- Potenza resa TG1+TG2+TV: 98 MW
- Potenza GVR: 40 t/h vapore AP; 10 t/h vapore BP; 8 t/h vapore BBP per ciascuno dei 2 GVR
- Impianto di abbattimento NOX: *Dry Low Emission (DLE)*
- Potenza alternatori: 52 MVA, 48 MVA, 35 MVA
- Trasformatori principali: 11/132 kV
- Impianto di condensazione con torri evaporative

