

Cogenerazione e trigenerazione:

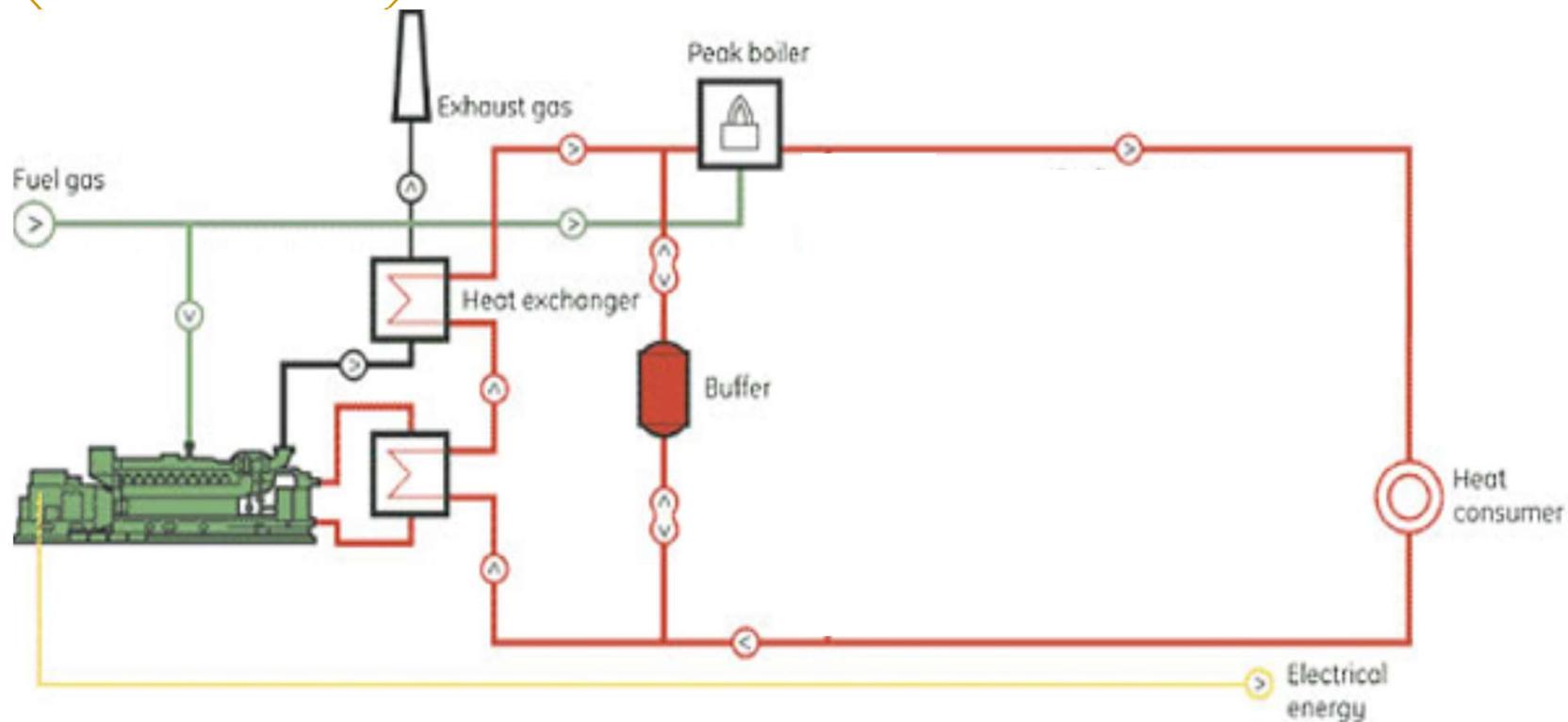
Macchine ad assorbimento per la trigenerazione e il solar-cooling



prof. Mauro REINI
docente di sistemi per l'energia e l'ambiente
Università di Trieste – Polo di Pordenone

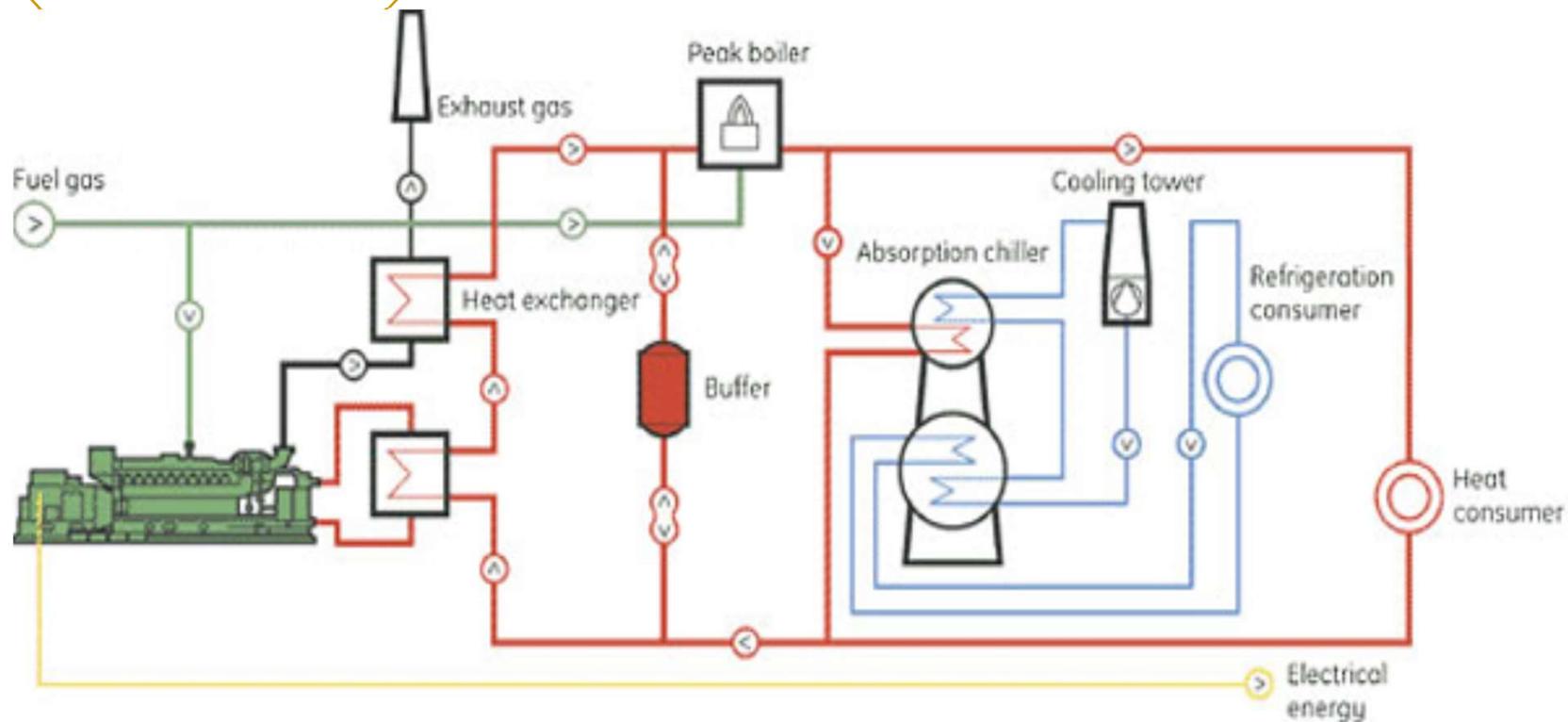


Sistemi Tri-generativi



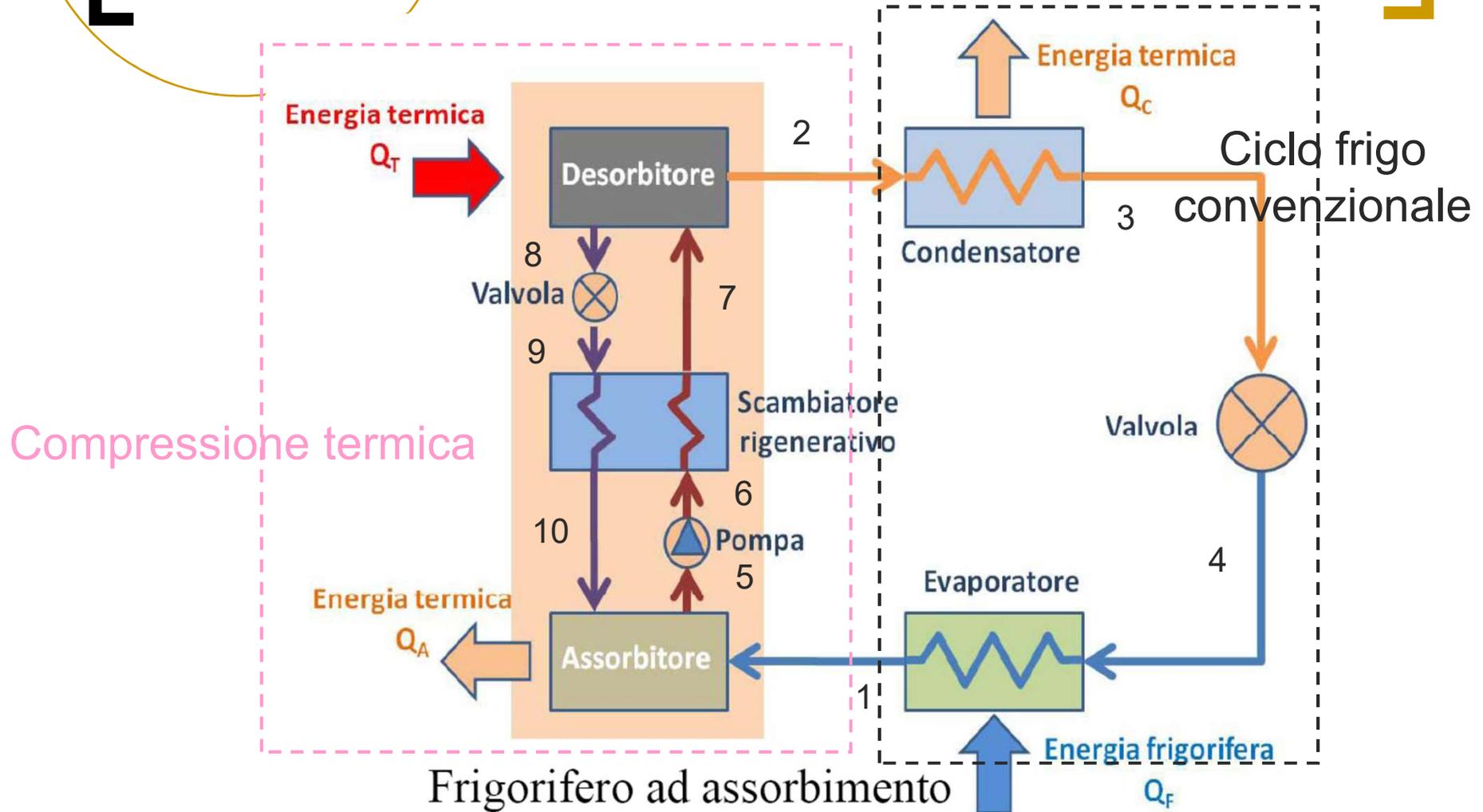
Tutte le utenze stagionali sono affette da un ridotto utilizzo del cogeneratore nei mesi estivi: Ampio ricorso al calore di integrazione, riduzione della efficienza annuale del CHP, PBP lunghi.

Sistemi Tri-generativi

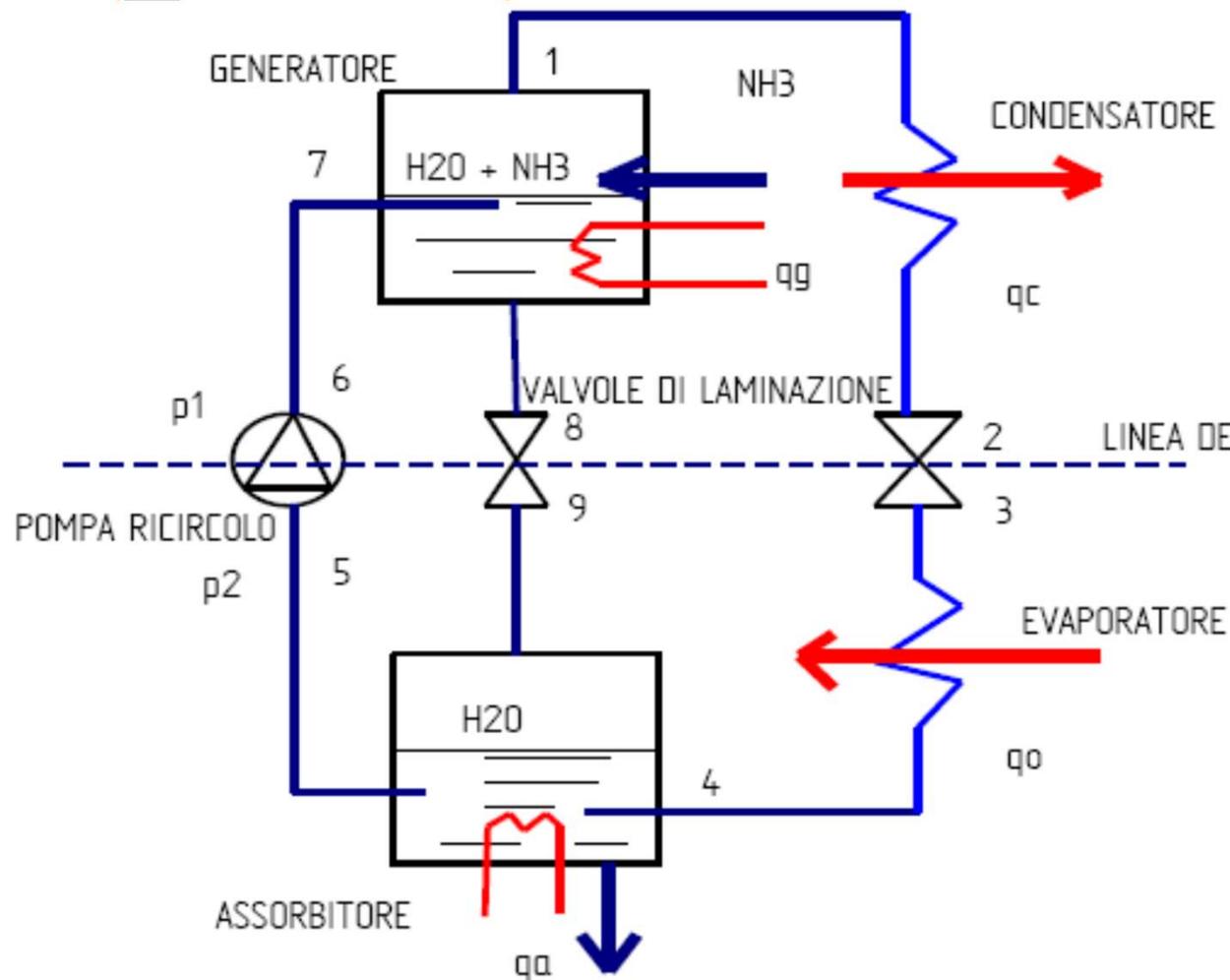


I sistemi tri-generativi consentono di utilizzare il calore cogenerato anche in estate, producendo acqua refrigerata.

Macchine frigo ad assorbimento



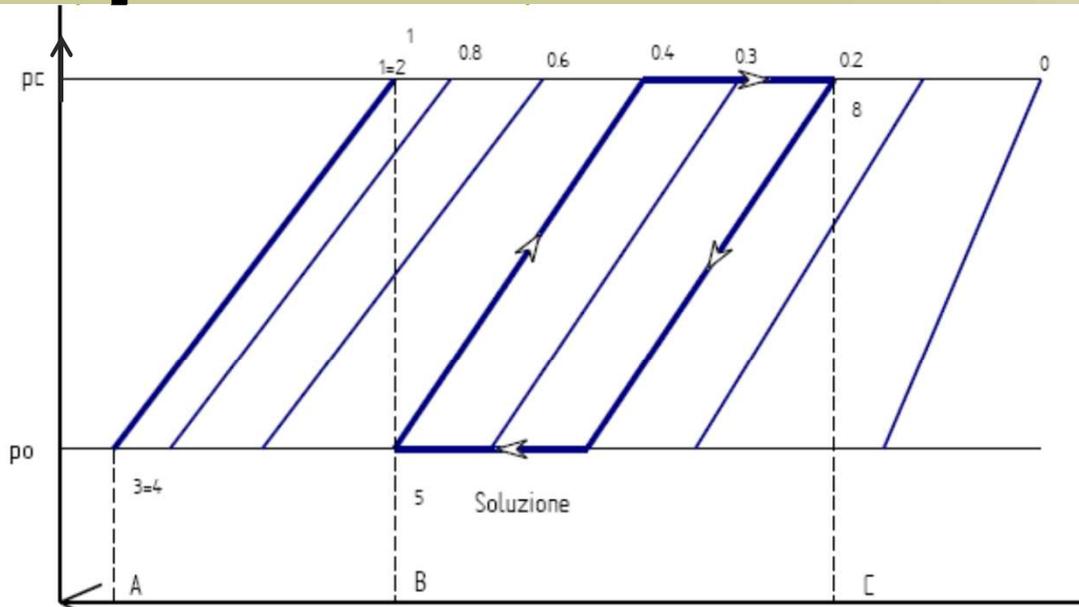
Macchine frigo ad assorbimento



Per acqua ed ammoniaca si hanno $130^{\circ}\text{-}150^{\circ}\text{C}$ al generatore e $45^{\circ}\text{-}55^{\circ}\text{C}$ in assorbitore/condensatore. La temperatura all'evaporatore (funzione della p_v) è di qualche grado sotto lo zero.

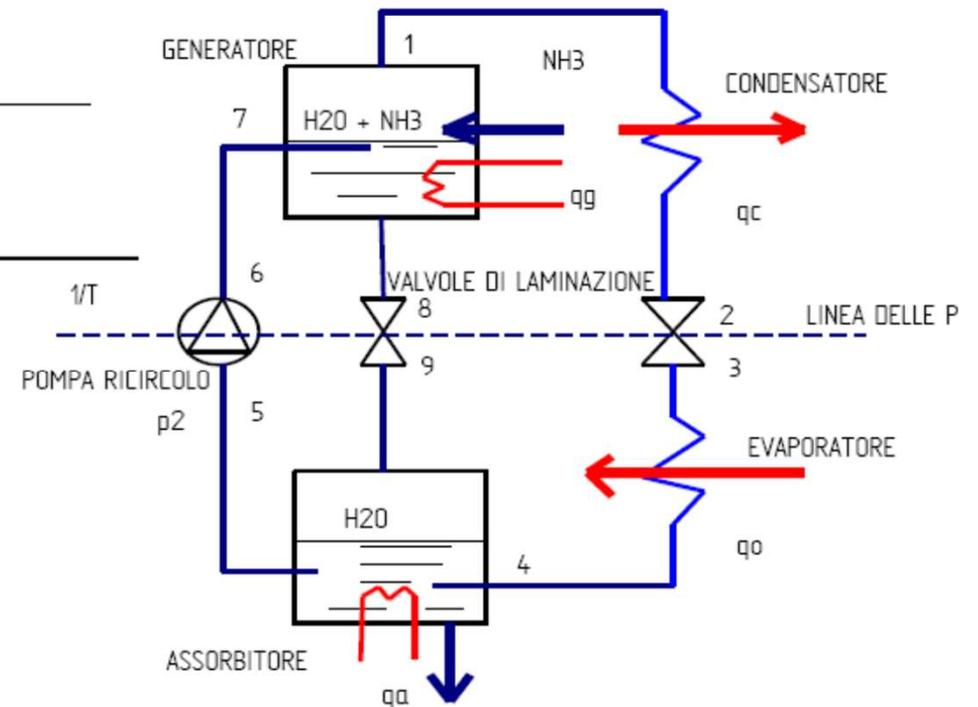
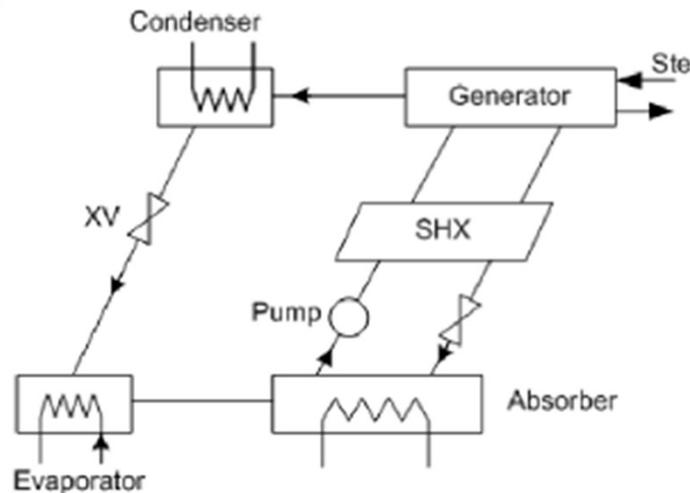
Si utilizzano anche miscele acqua-bromuro di litio o acqua-fluoruro di litio (è l'acqua che funge da refrigerante), che hanno il pregio di funzionare a temperatura inferiore (circa 80°C).

Macchine frigo ad assorbimento

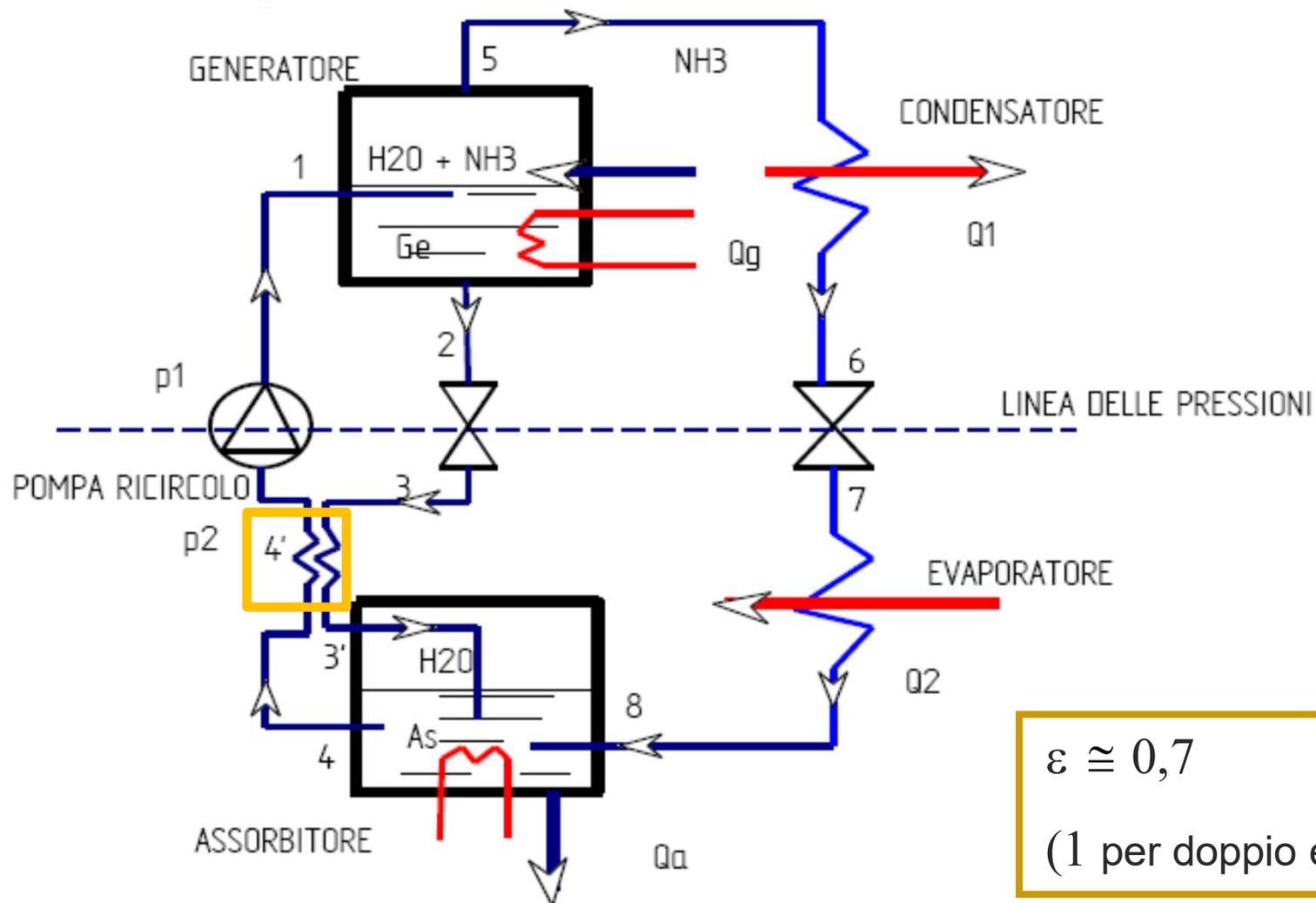


$$q_0 + q_g = |q_a| + |q_c|$$

$$\varepsilon = \frac{q_0}{q_g + |P_p|} \cong \frac{q_0}{q_g}$$



Macchine frigo ad assorbimento con recupero interno di calore



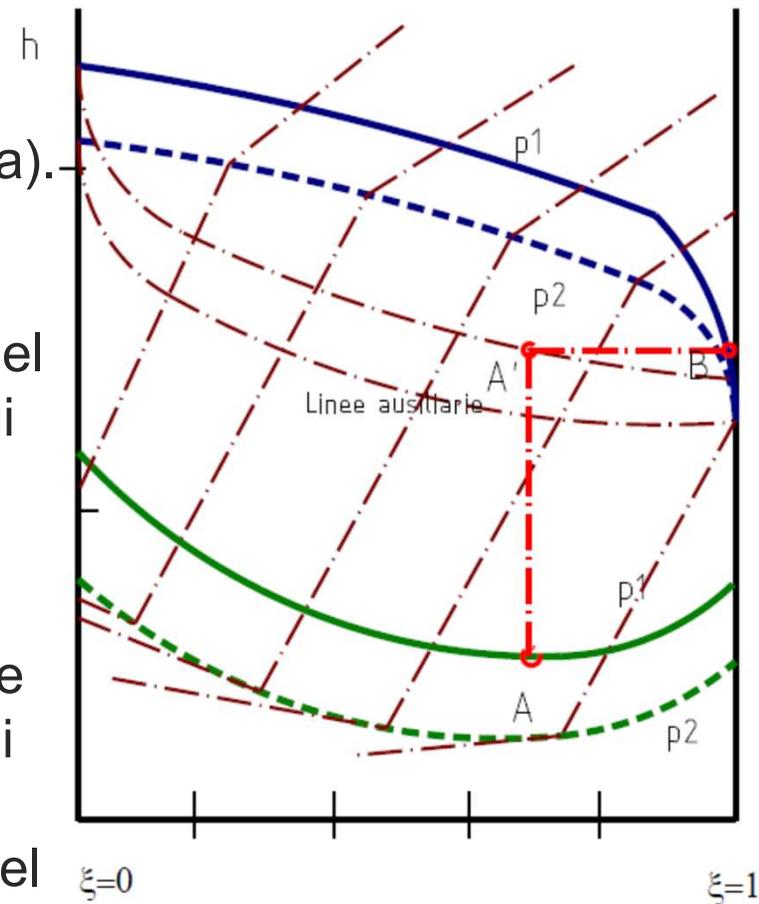
$\varepsilon \cong 0,7$
(1 per doppio effetto)

Abaco di Bosnjacovic

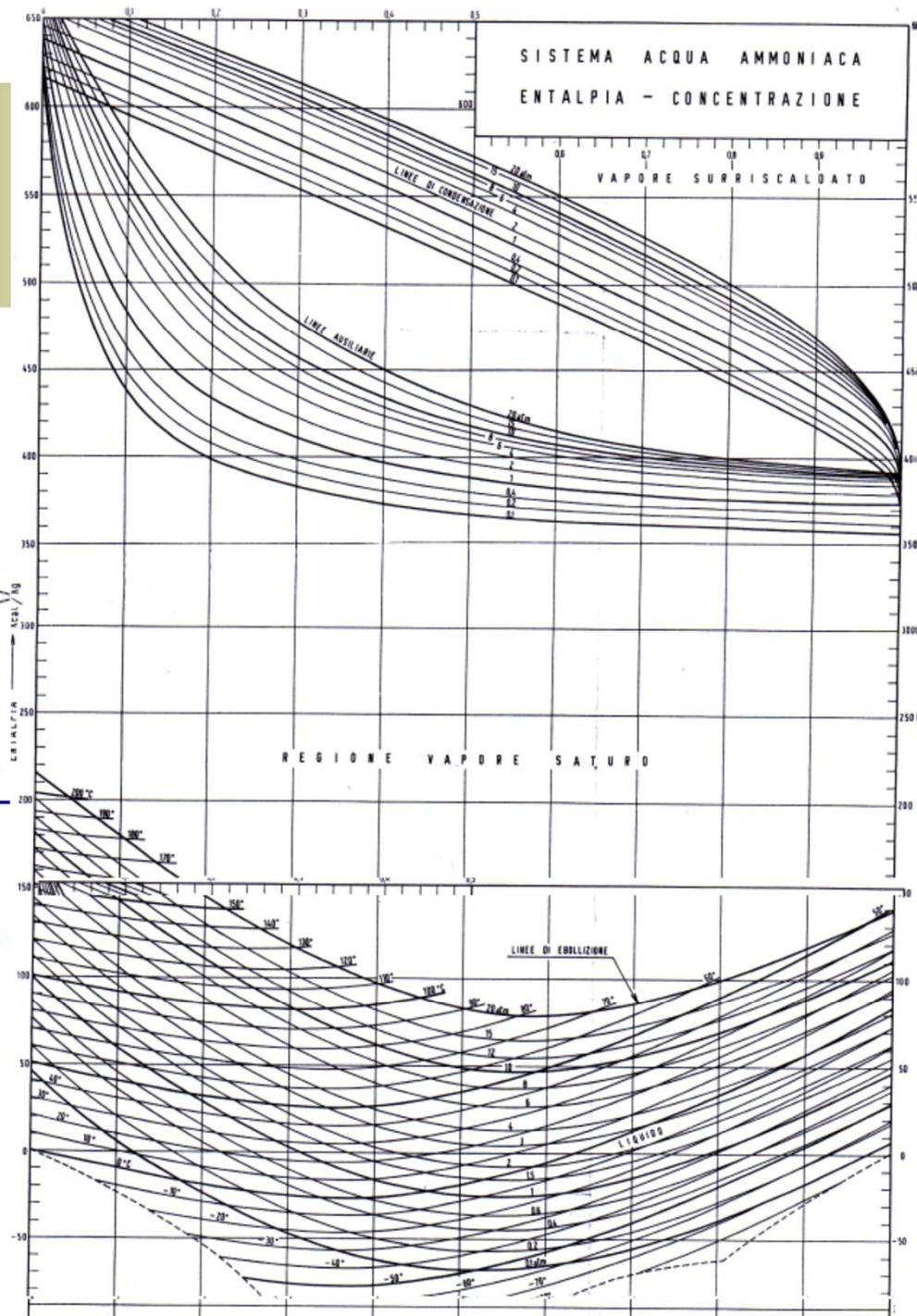
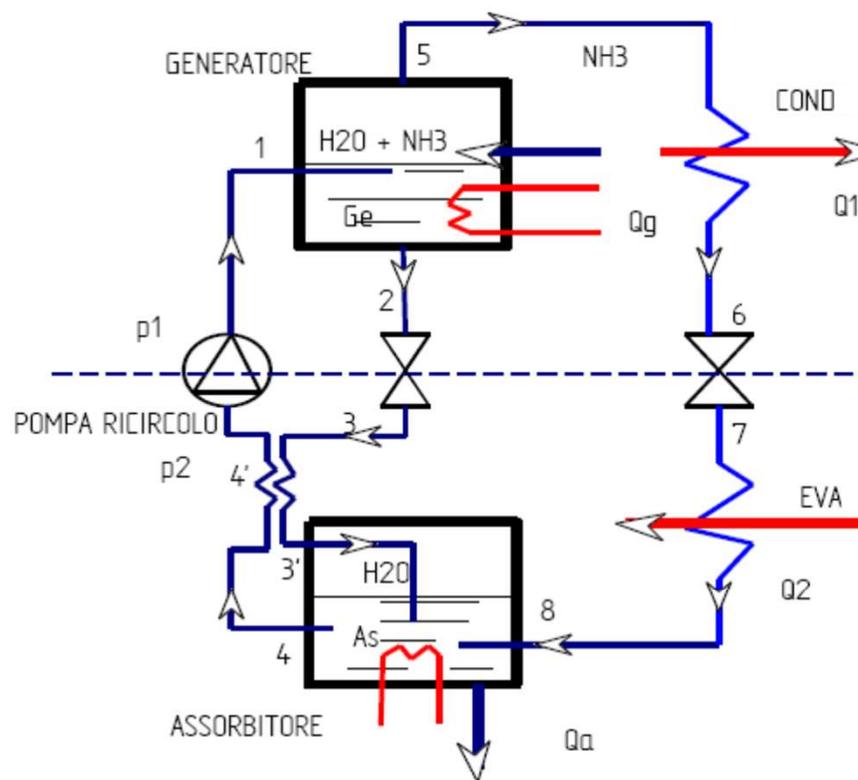
È un diagramma concentrazione-entalpia (non concentrazione-temperatura).

Le curve ausiliarie servono per determinare il punto corrispondente del vapore in equilibrio con il liquido di cui sono note (ξ e T) o (ξ e p).

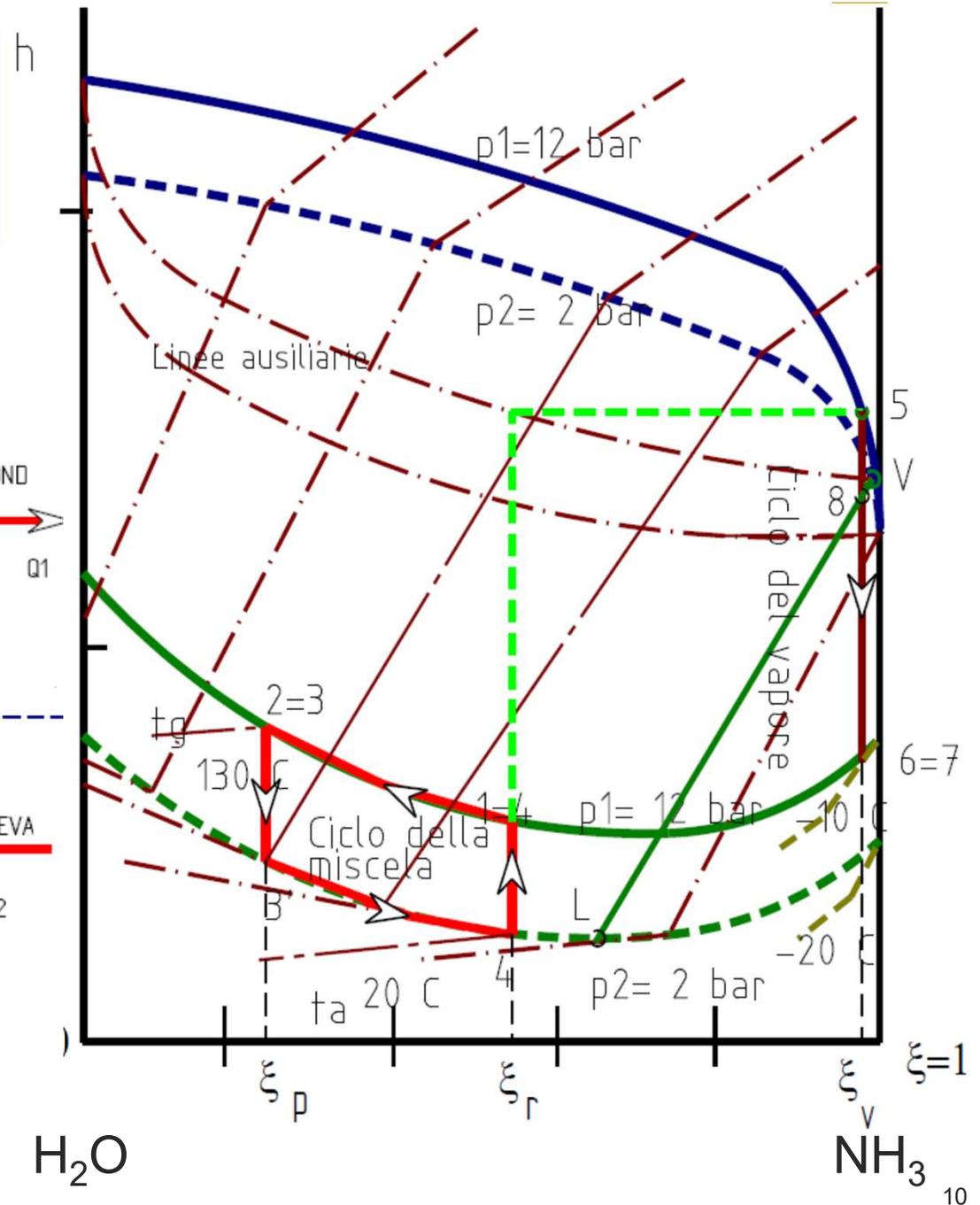
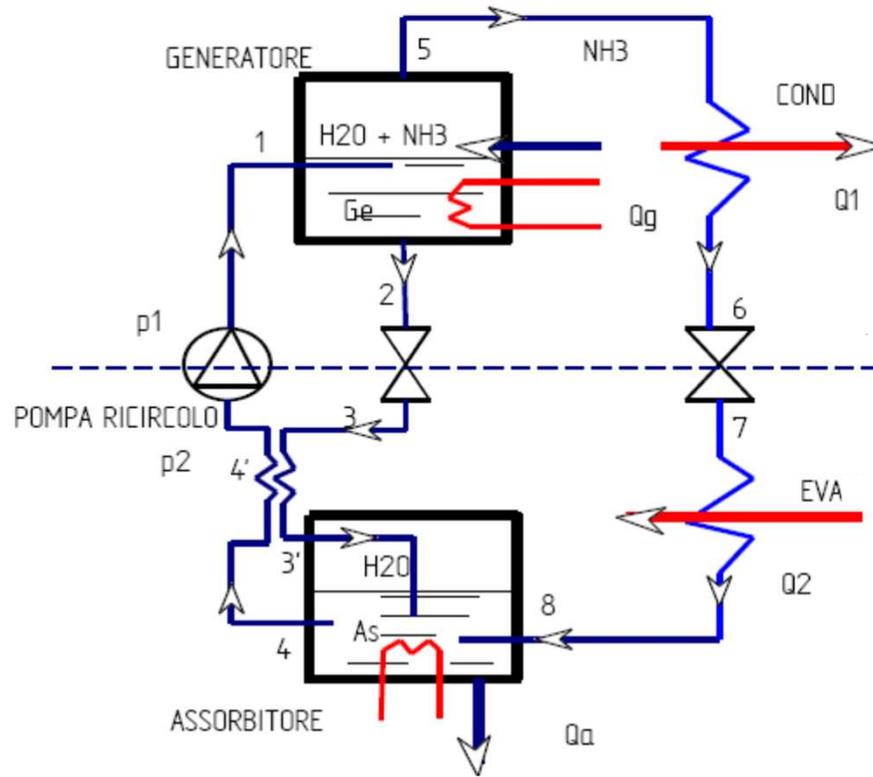
Il liquido segnato con A è in equilibrio con il vapore B determinato dall'intersezione della retta orizzontale passante per A' (con A' sull'ausiliaria di pari pressione e concentrazione di A) con la curva *vaporus* alla pressione del liquido.



Abaco di Bosnjacovic

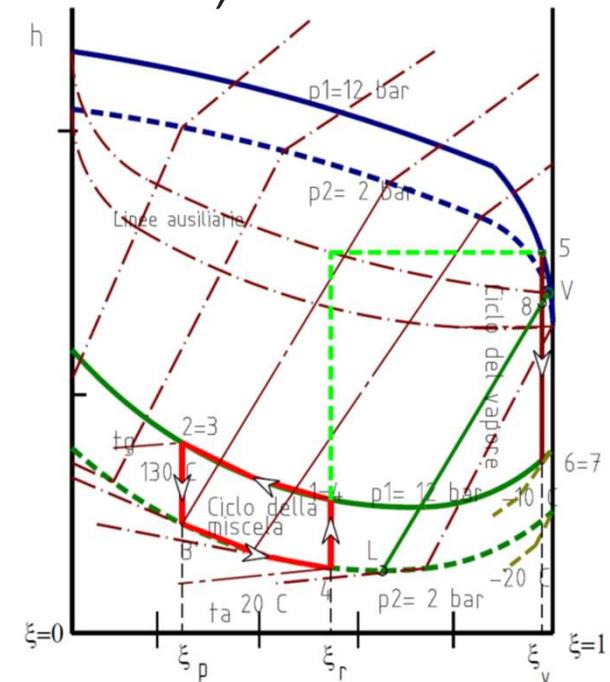
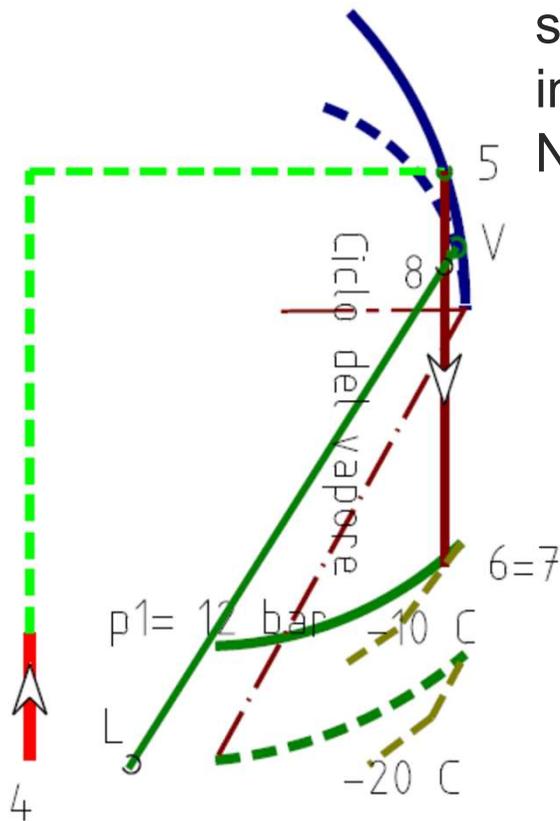


Abaco di Bosnjacovic



Abaco di Bosnjacovic

Per determinare 8 occorre conoscere le condizioni della miscela tutta liquida alla temperatura di inizio vaporizzazione (L) e di quella tutta vapore nelle stesse condizioni, (V); le condizioni 8 sono date dalla intersezione della retta $\xi_v = \text{costante}$ (la percentuale di NH_3 rimane costante nella miscela) con la retta LV.



Macchine frigo ad assorbimento

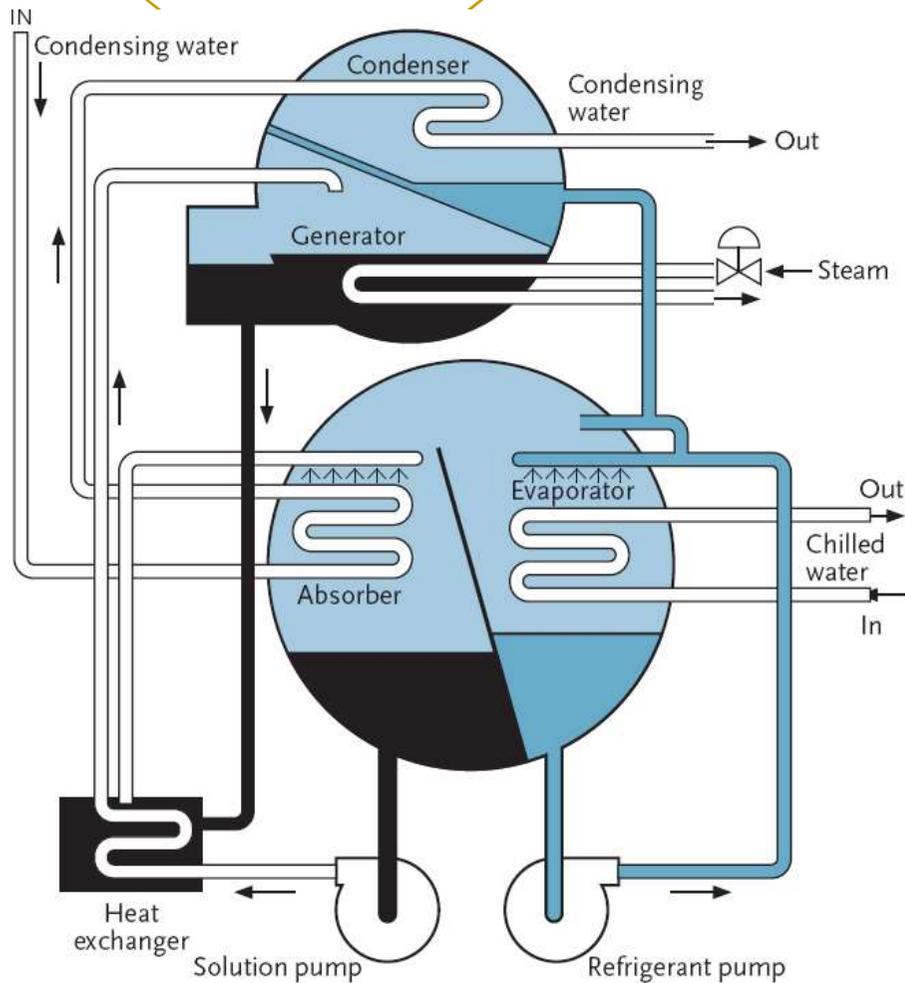
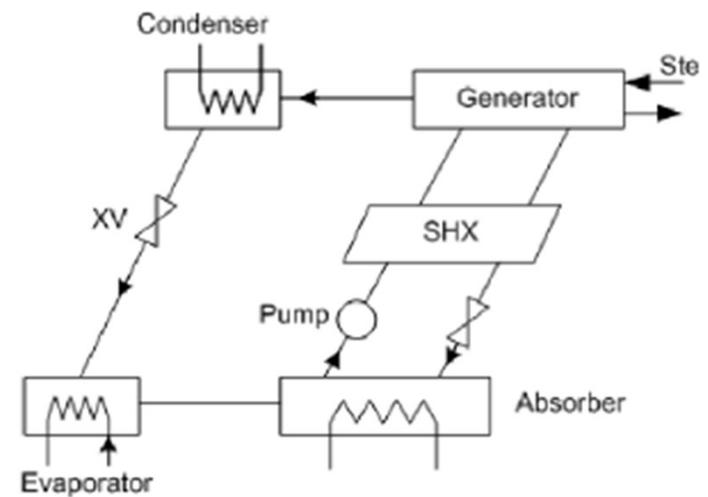
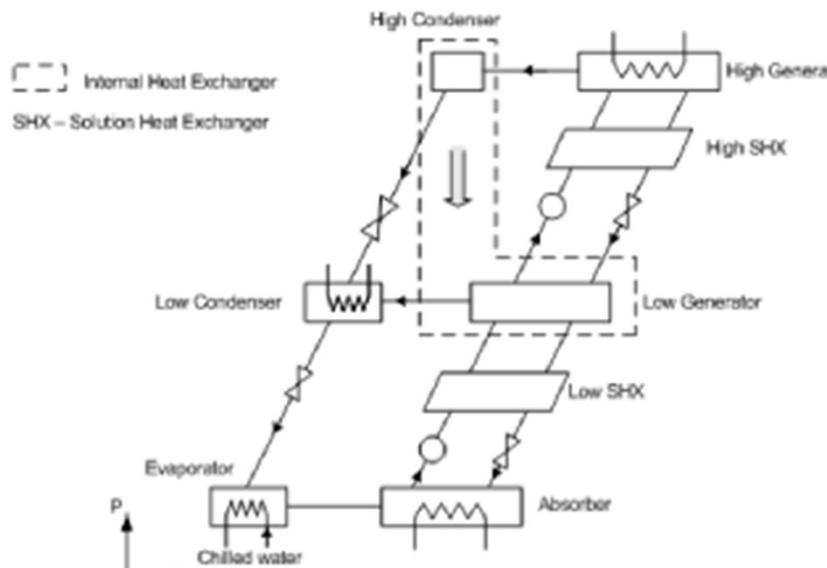
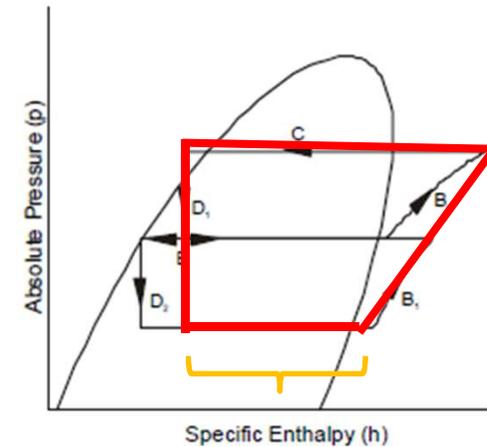
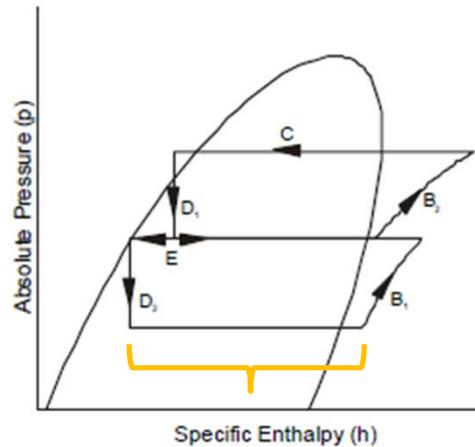
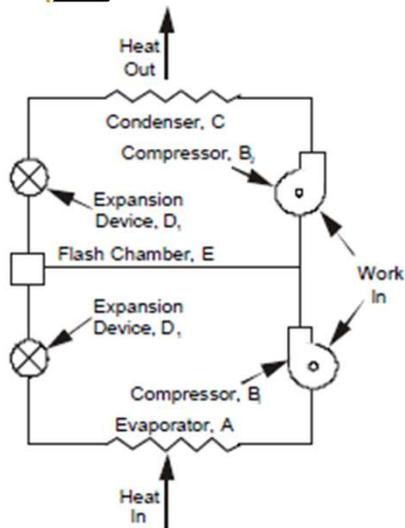


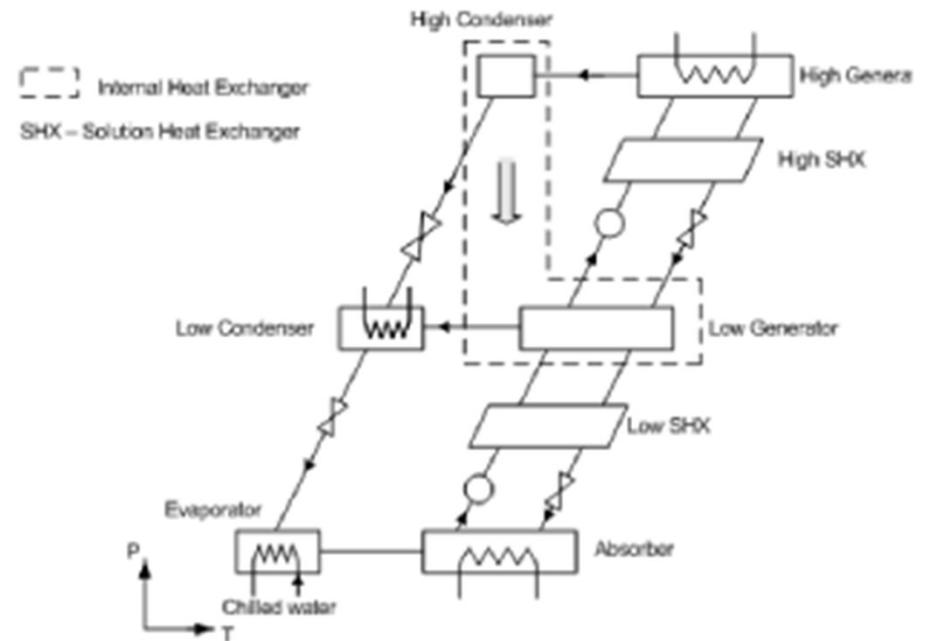
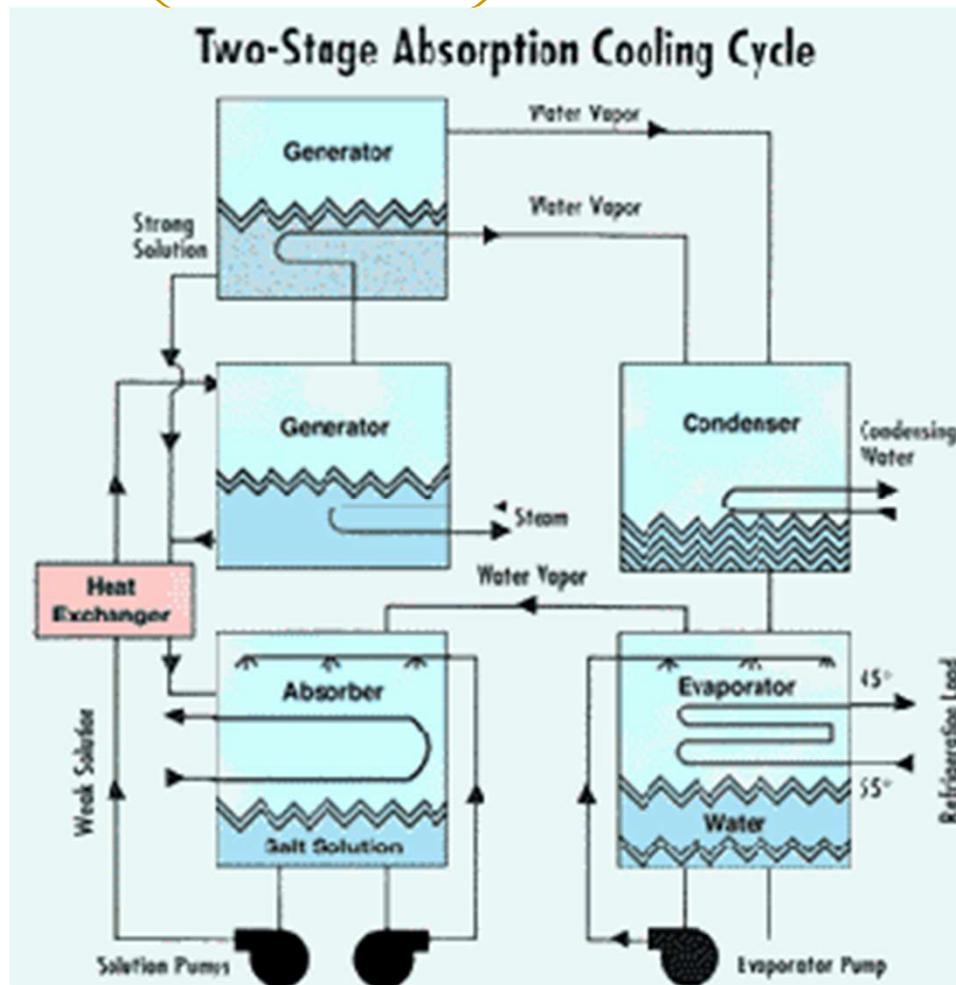
Figure 3 Components of a two shell lithium bromide water chiller



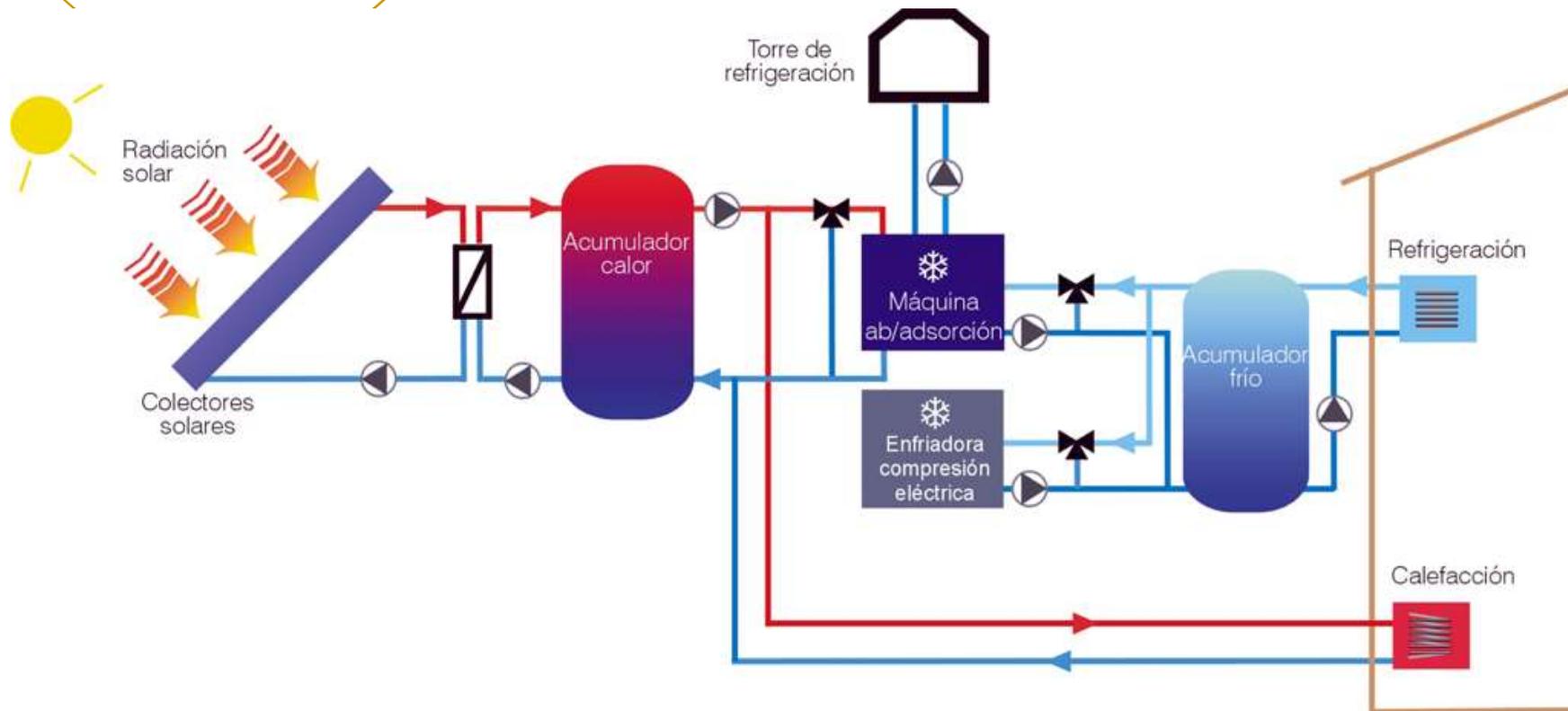
Assorbitori a doppio effetto



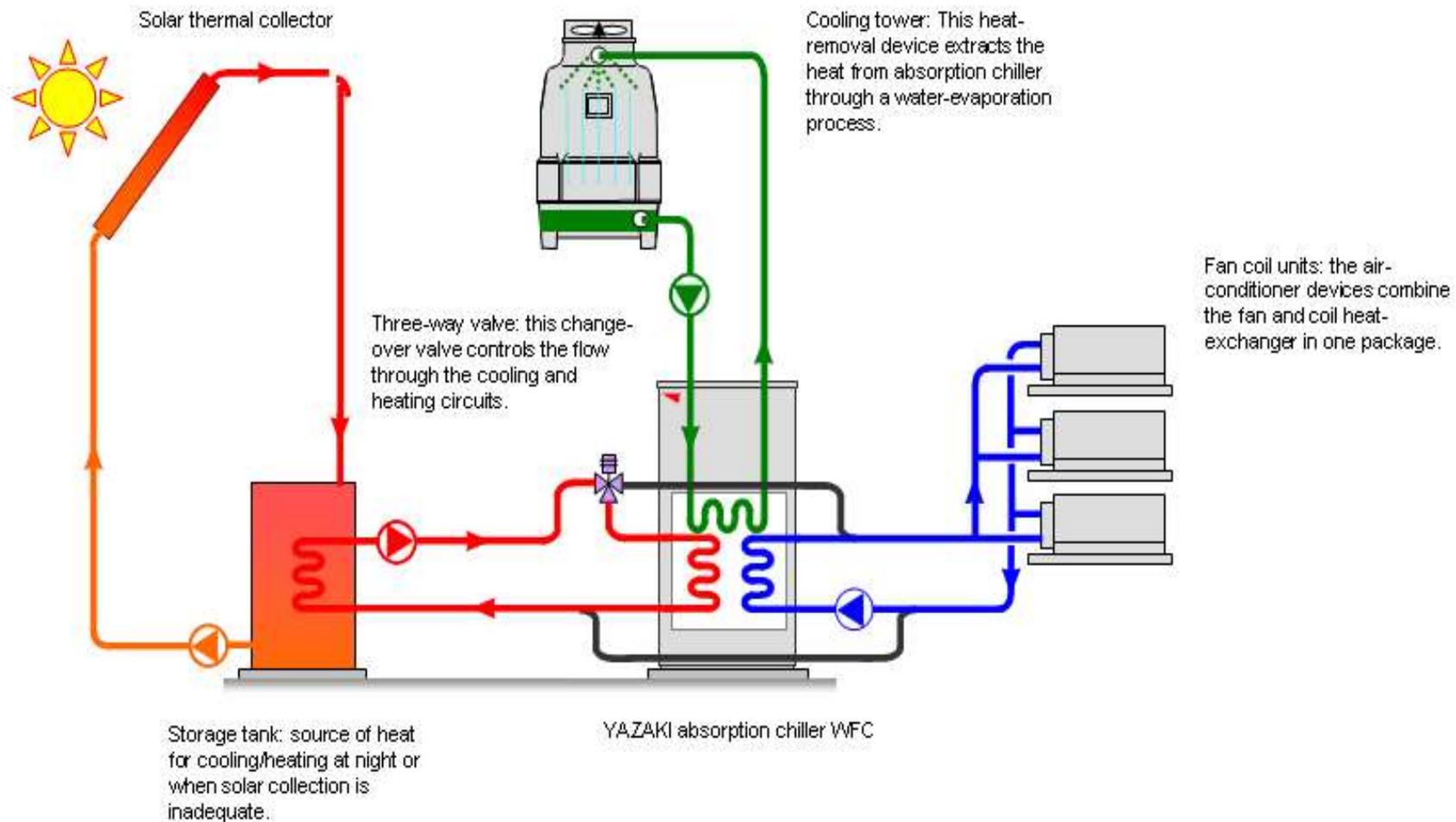
Assorbitori a doppio effetto



Sistemi solar cooling ad assorbimento

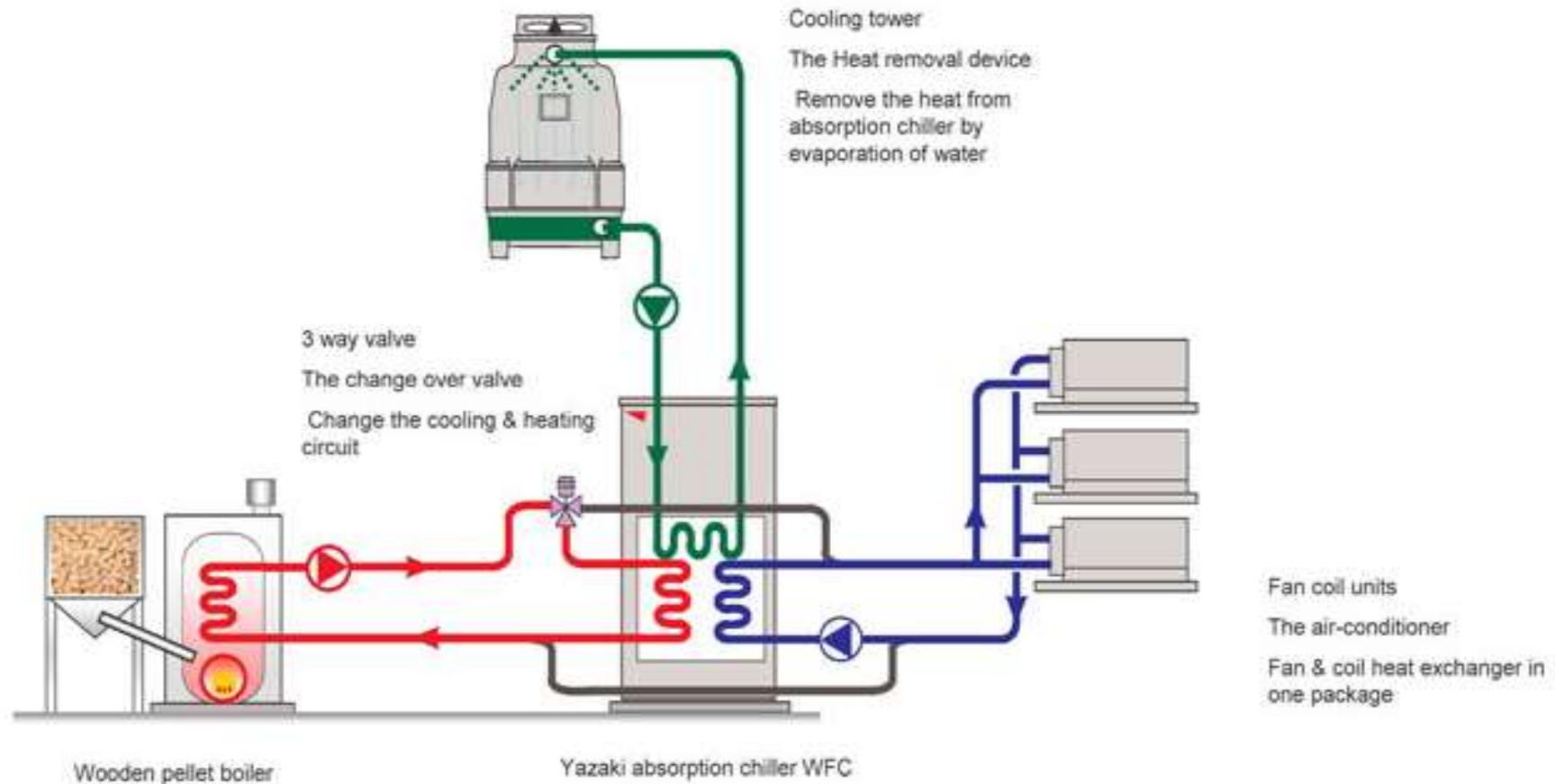


Sistemi solar cooling ad assorbimento

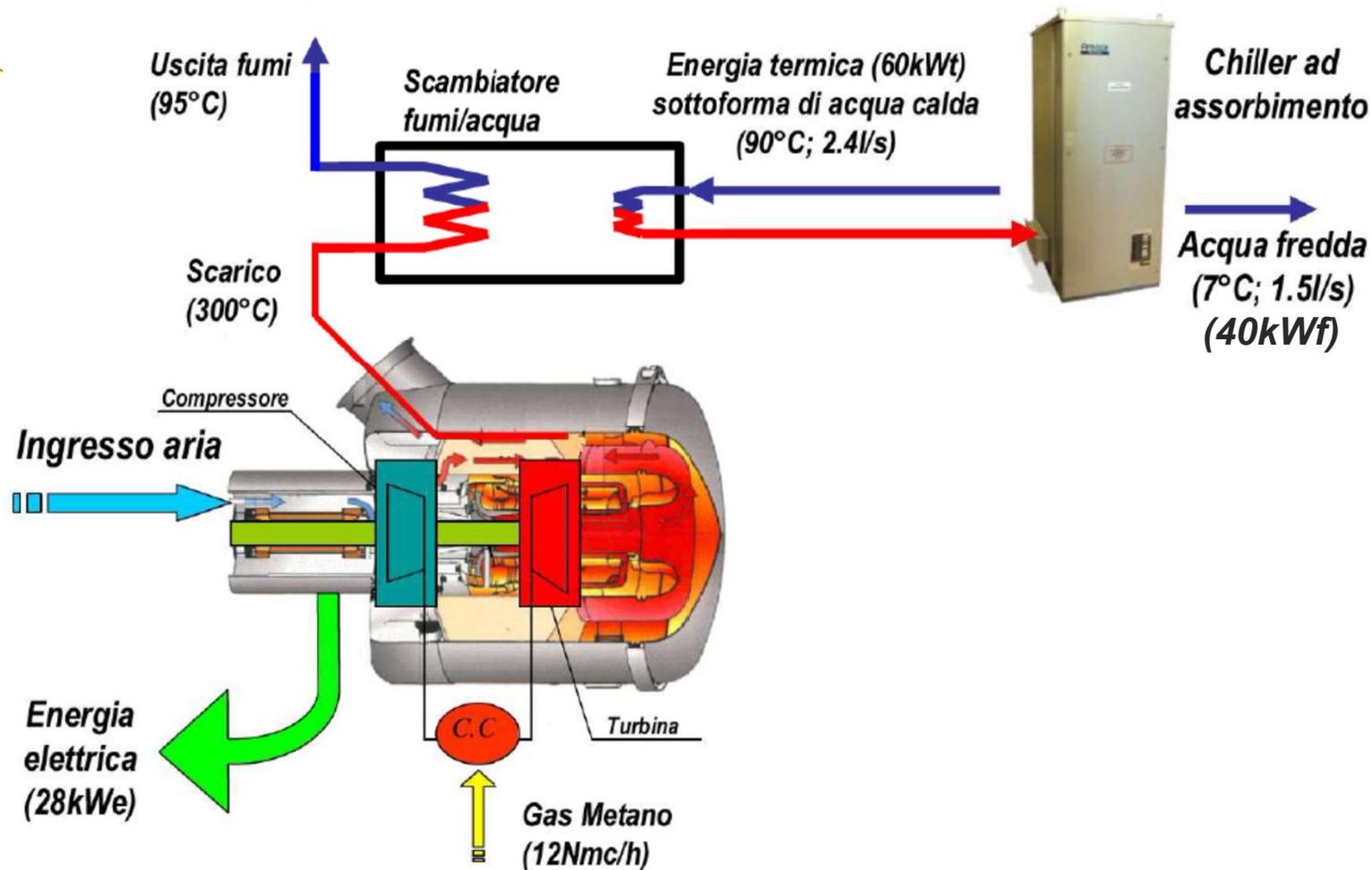


Sistemi ad assorbimento con RES

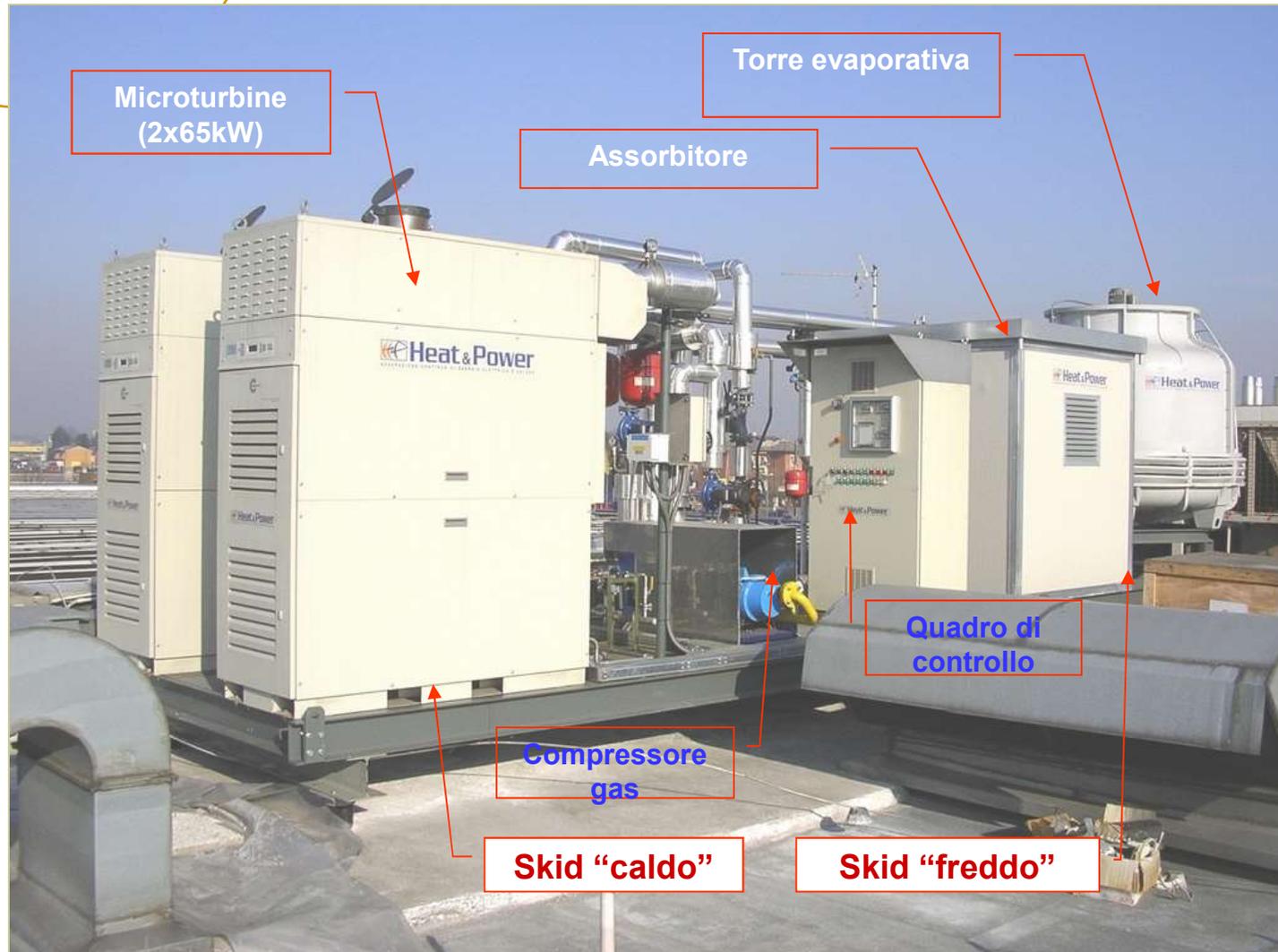
Waste Heat from Biomass



Sistemi Tri-generativi con μ TG



Un esempio di Tri-generazione



Possibili impieghi della trigenerazione

Grandi edifici

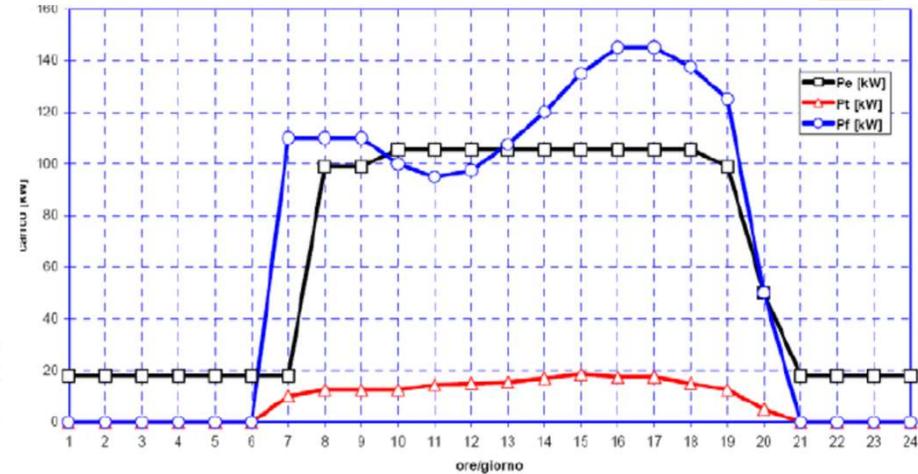
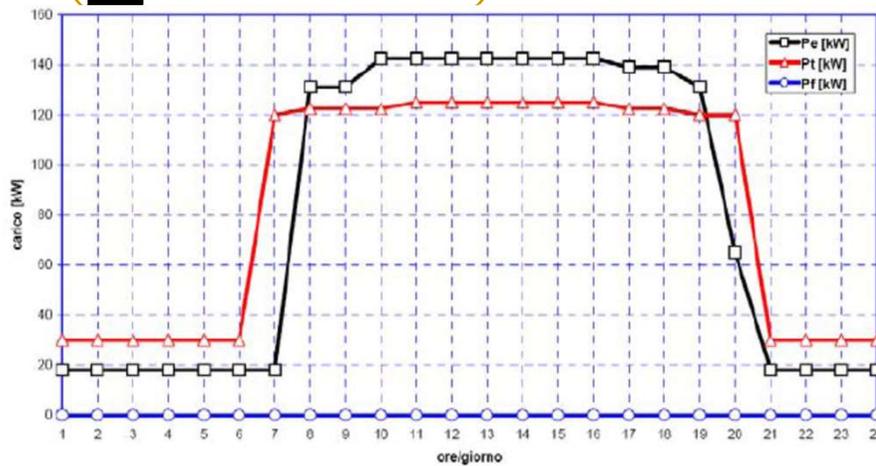


Ospedali

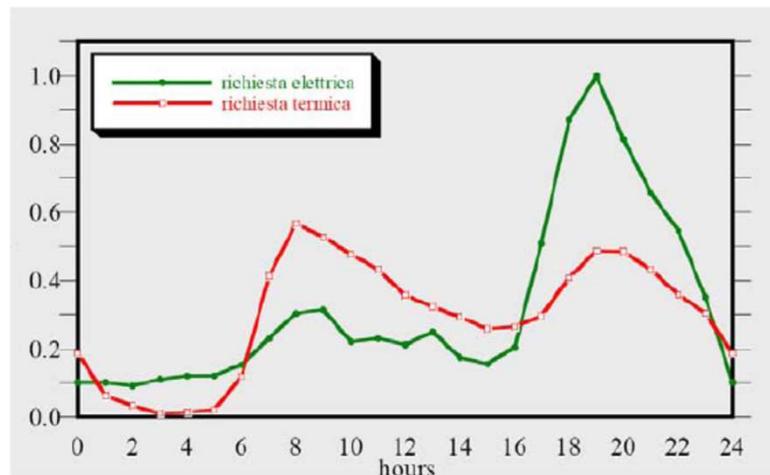
Edifici residenziali (Condomini)



Variabilità dei carichi delle utenze durante la giornata - tipo



Utenza nel **civile**
nelle 24 ore

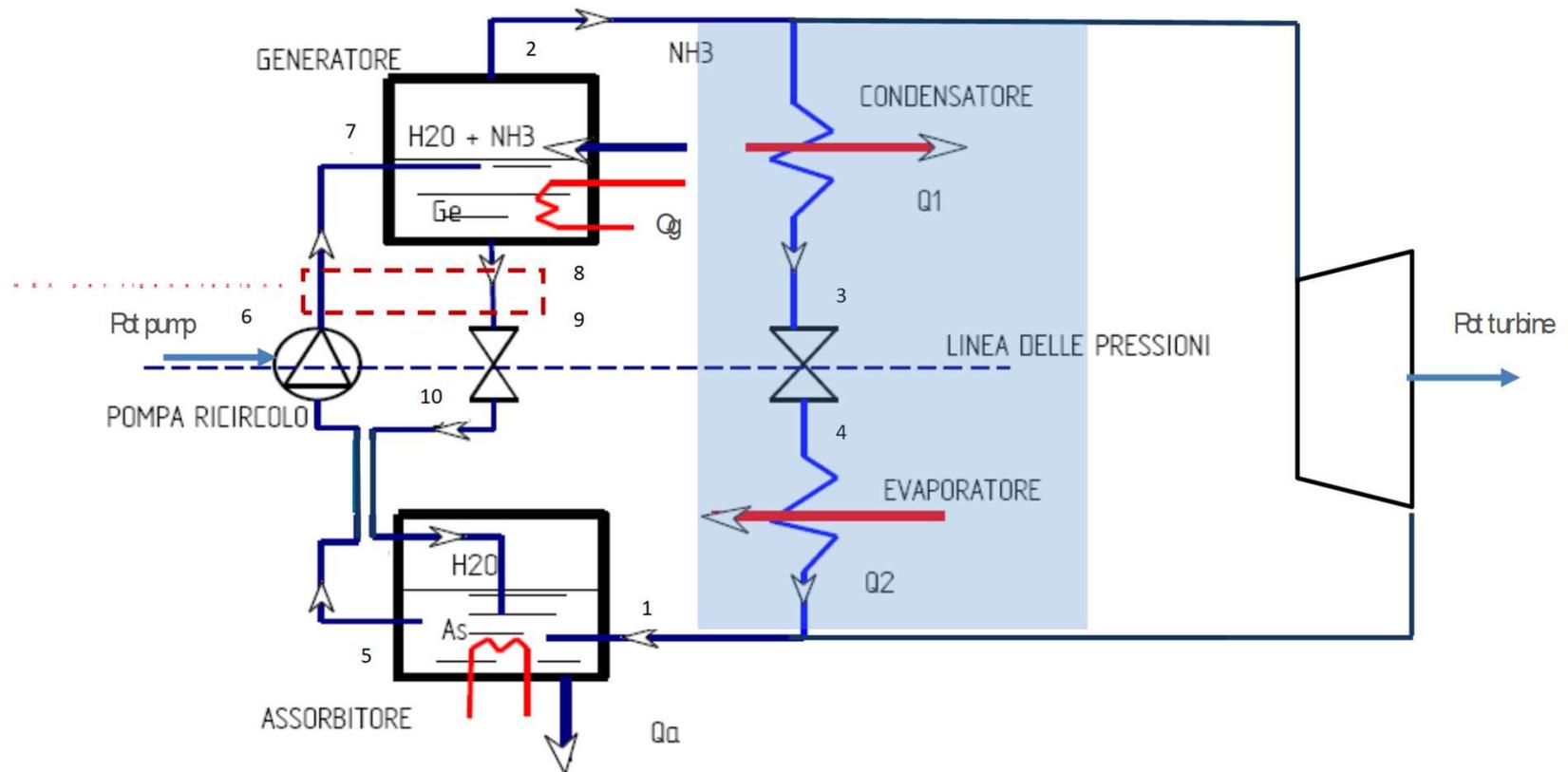


Utenza nel **terziario**
nelle 24 ore

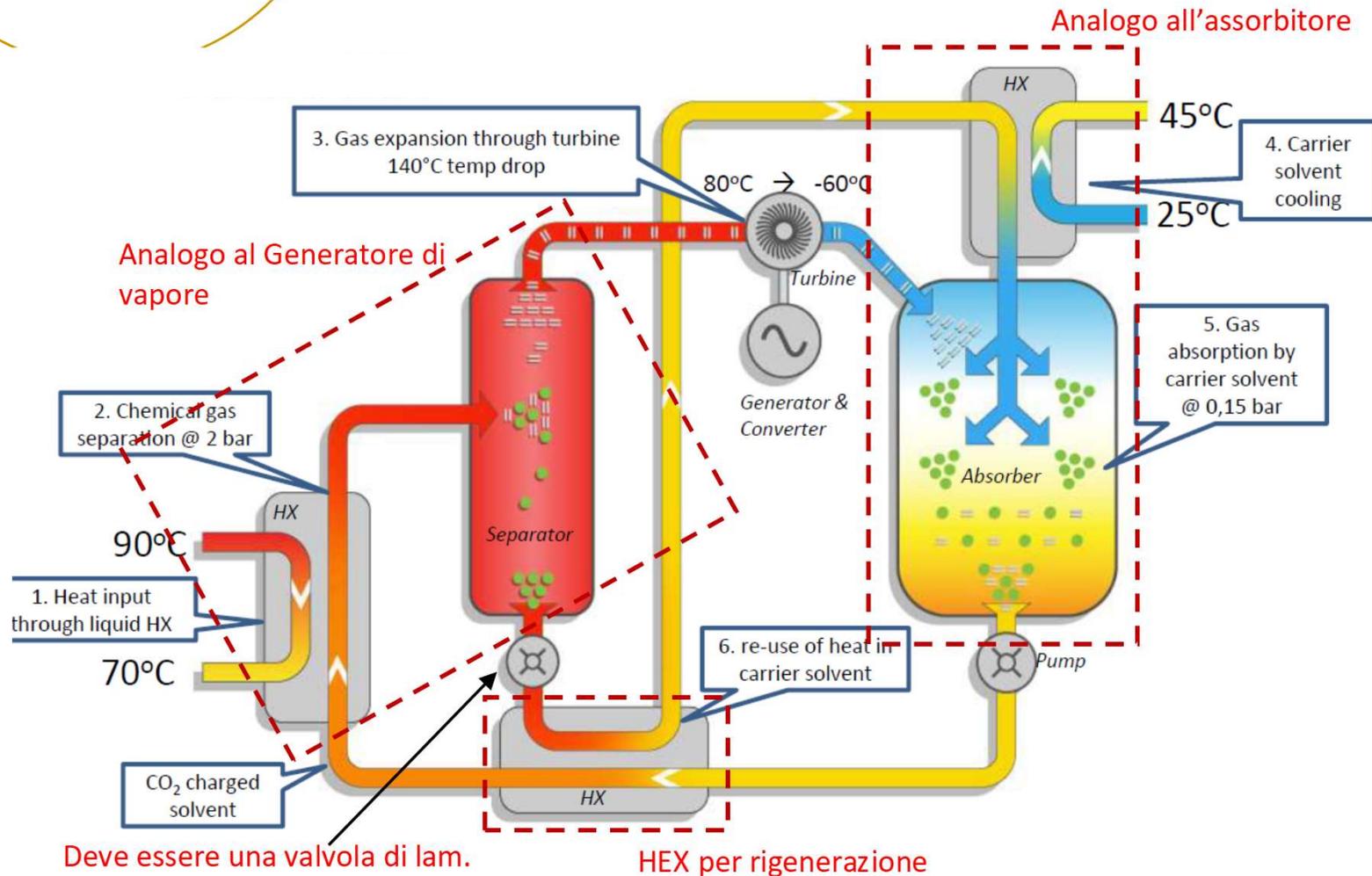


ABSORPTION POWER CYCLE

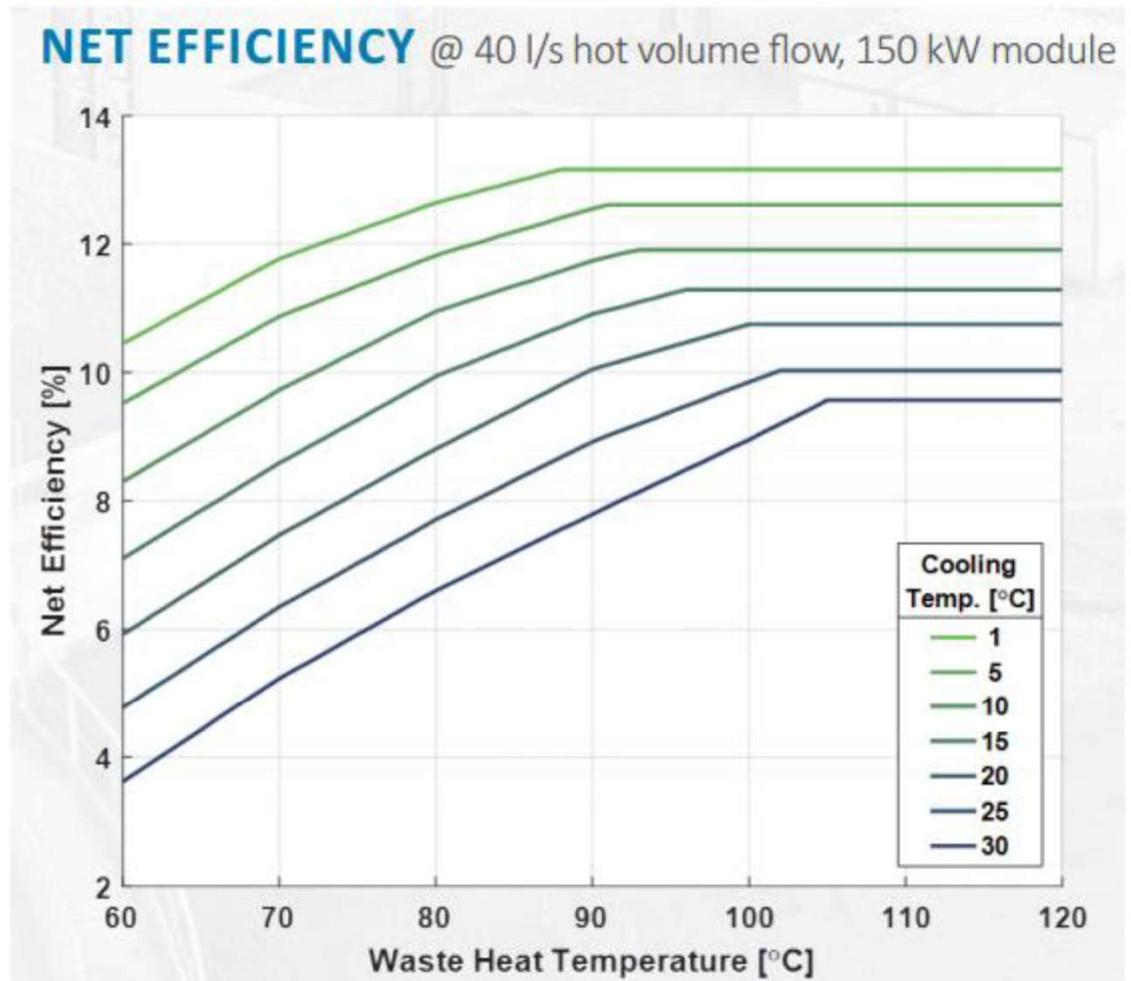
Il Ciclo Climeon è analogo ad una termocompressione, quale avviene nelle macchine frigo ad assorbimento, seguita da una espansione che sostituisce condensatore ed evaporatore.



ABSORPTION POWER CYCLE

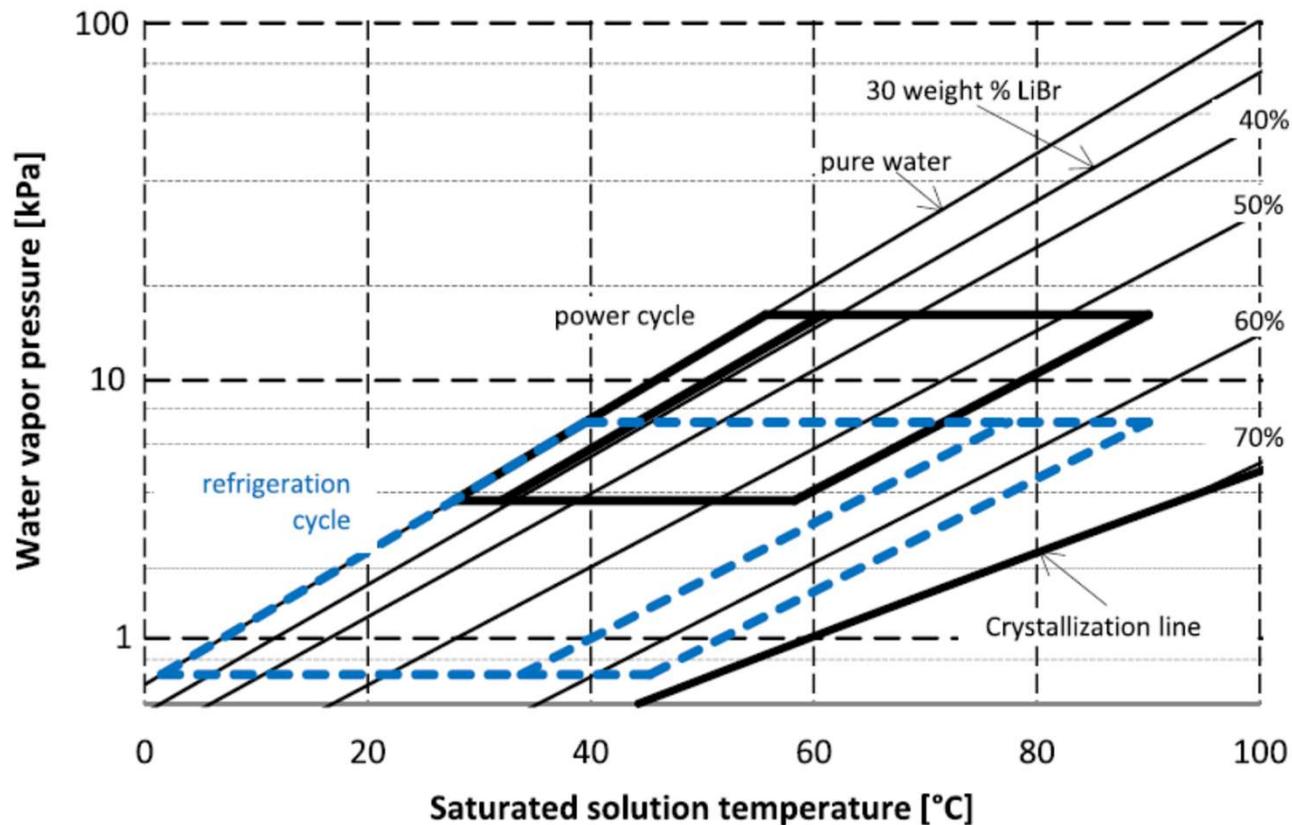


ABSORPTION POWER CYCLE



Efficienza elettrica netta di un gruppo CLIMEON

ABSORPTION POWER CYCLE



Dühring diagram for a LiBr aqueous solution, highlighting a typical absorption refrigeration cycle and the power cycle presented in Novotny and Kolovratnik - Int. J. Energy Res. 2017; 41:952–975, both with a highest solution temperature of 90°C.

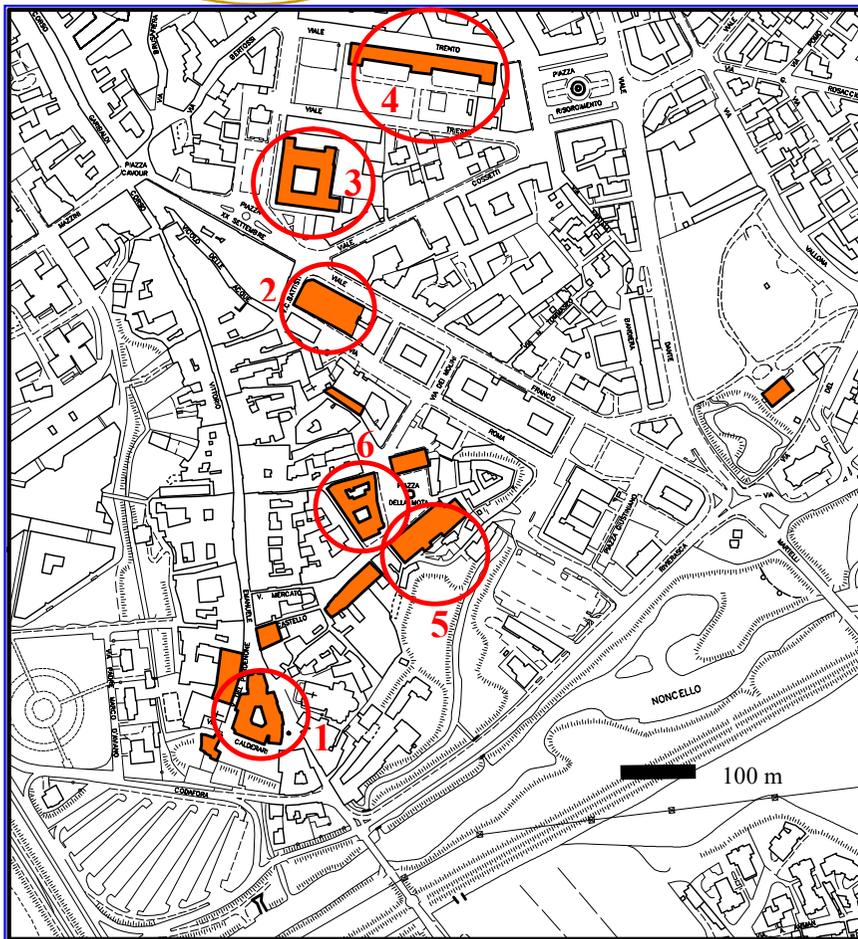
ABSORPTION POWER CYCLE

Cycle, fluid	η_u [%]	$\eta_{c, \text{gross}}$ [%]	$\eta_{u, \text{gross}}$ [%]	$\eta_{ex, \text{gross}}$ [%]	η_{ex} [%]	Note	p_{high}	p_{low}	x_e
							[bar]	[bar]	[%]
APC NH ₃ -H ₂ O	1.4	5.5	1.7	13.8	11.3	$c_{\text{NH}_3} = 89\%$	20.70	10.67	98
APC H ₂ O-LiBr	1.6	6.1	2.0	15.8	13.2	$c_{\text{H}_2\text{O}} = 41\%$	0.06	0.01	98
APC amyl-acetate-CO ₂	1.0	3.6	1.8	14.6	7.8	$c_{\text{AA}} = 11\%$	92.50	60.00	97
APC imidazolium-R134a	0.9	8.7	1.5	11.8	7.3	$c_{\text{R134a}} = 77\%$	0.60	0.10	99
APC imidazolium-H ₂ O	1.0	6.8	1.4	11.7	8.1	$c_{\text{H}_2\text{O}} = 8\%$	0.90	0.33	94
APC MeOH-HepOH	1.5	6.5	2.0	15.8	12.2	$c_{\text{MeOH}} = 60\%$	0.63	0.18	95
ORC pentane-cyclohexane	1.6	7.1	2.0	16.5	12.9	$c_{\text{n-Pentane}} = 60\%$	1.40	0.43	100
RC H ₂ O	1.0	6.4	1.5	12.4	8.4		0.20	0.05	95
ORC isobutane	1.1	5.9	1.6	13.0	8.6		8.97	4.46	100
ORC MM	1.0	5.5	1.5	12.1	8.0		0.28	0.09	100
ORC R245fa	1.1	6.0	1.6	13.1	8.7		4.79	2.00	100
R-ORC isobutane	–	–	–	–	–	Optimum at $Q_{\text{rec}} = 0$			
R-ORC MM	1.0	5.9	1.5	12.2	8.2				
R-ORC R245fa	–	–	–	–	–	Optimum at $Q_{\text{rec}} = 0$			
SC-ORC R143a	0.8	6.2	1.1	8.7	6.2				
SC-ORC R41	1.2	4.6	2.0	16.0	9.6				

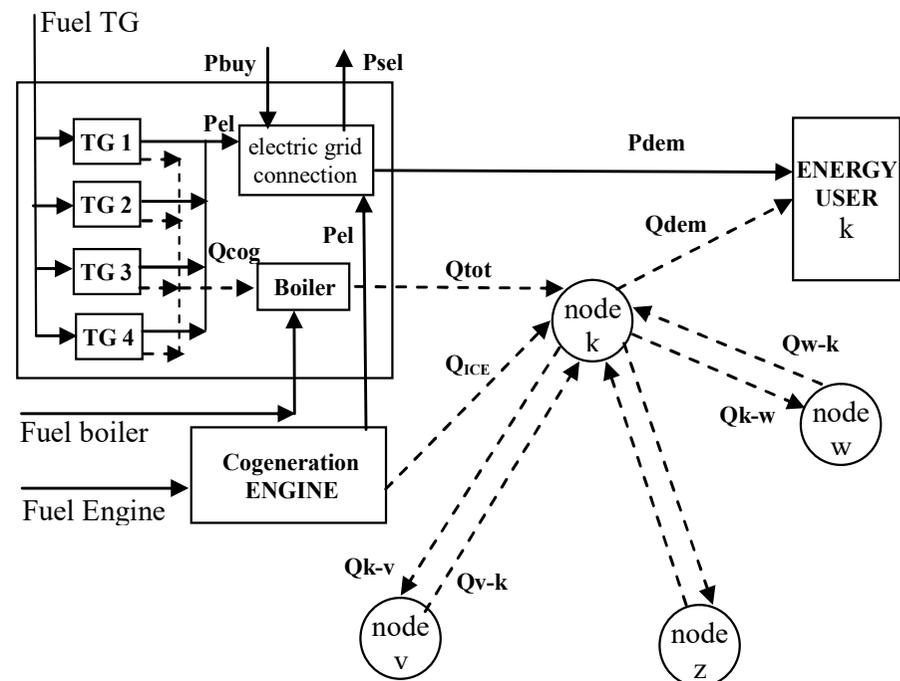
Results of thermodynamic analysis for 100 °C heat source. Novotny, Vitvarova, and Kolovratnik - Absorption Power Cycles with Various Working Fluids for Exergy-Efficient Low-Temperature Waste Heat Recovery.

u = energy utilization; gross = without considering auxiliary power for heat dissipation; c = cycle only; ex = exergy

Sintesi di sistemi di cogenerazione distribuita e teleriscaldamento



Ipotesi di cogenerazione distribuita con μ TG, integrata con micro-reti di teleriscaldamento, per il centro storico di Pordenone



Sintesi di sistemi di cogenerazione distribuita e teleriscaldamento

ALTERNATIVE:

Se si sceglie il sistema di cogenerazione centralizzato, in genere basato su un motore a combustione interna (ICE) :

- il calore cogenerato deve essere distribuito agli utenti e deve essere realizzato un sistema di teleriscaldamento all'interno di una zona ad alta densità di edifici storici.
- Il costo di investimento dell'intero sistema aumenta,

Se si sceglie il sistema di cogenerazione distribuita con μ TG:

- Queste hanno un costo più elevato per kWe installato,
- Hanno anche un'efficienza elettrica più bassa dell' ICE.

Sintesi di sistemi di cogenerazione distribuita e teleriscaldamento

OBIETTIVI:

- scegliere se il motore centralizzato deve essere adottato o meno,
- definire il numero di micro-turbine (di taglia fissata) all'interno di ogni edificio,
- definire i "minimi" collegamenti corretti tra gli edifici, al fine di ottimizzare il consumo di energia a basso carico termico,
- definire la strategia ottimale di funzionamento del sistema,
- valutare la riduzione globale delle emissioni, in particolare di CO₂.

Sintesi di sistemi di cogenerazione distribuita e teleriscaldamento

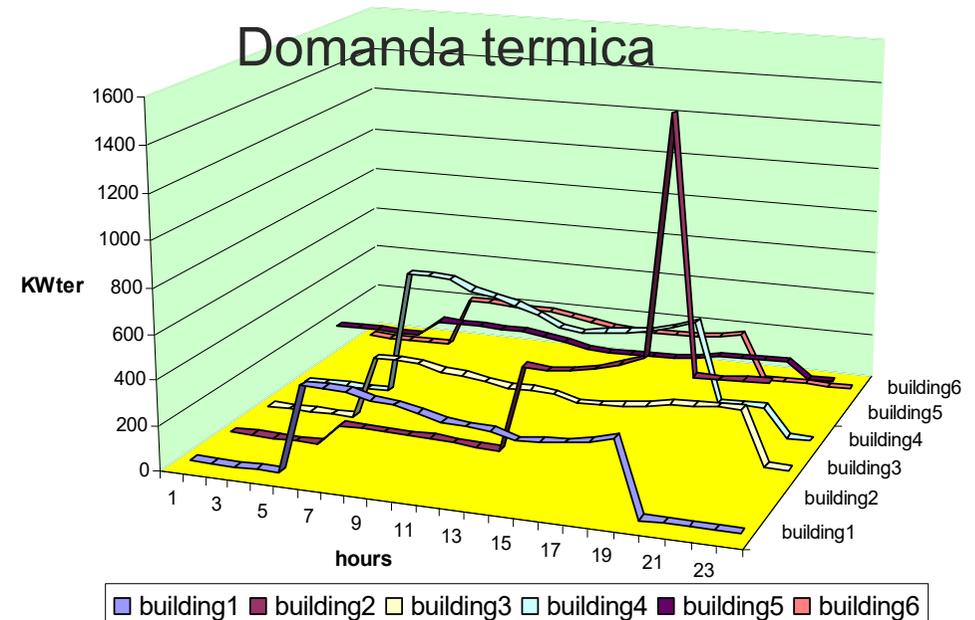
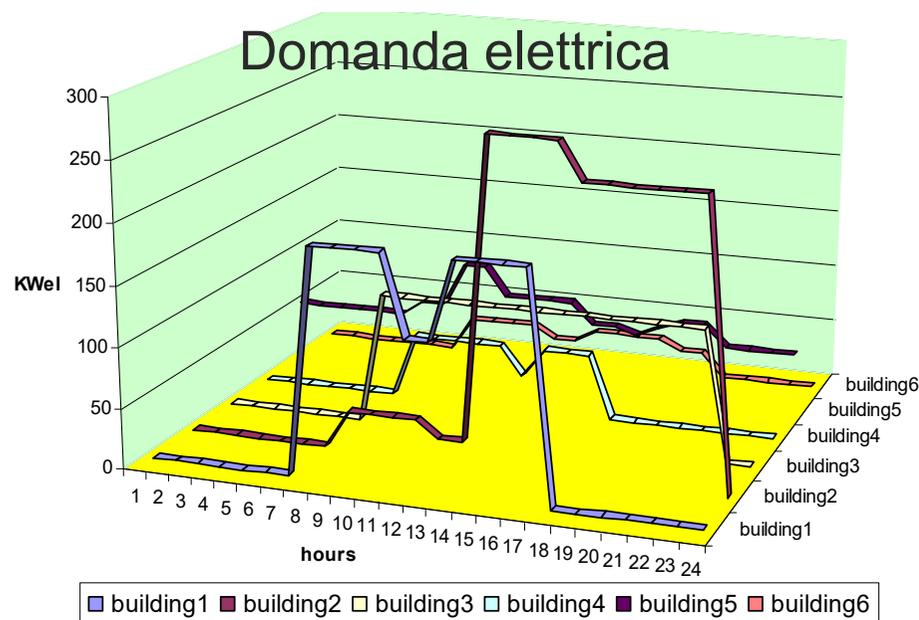
RISOLUZIONE DEL PROBLEMA:

- definire un programma di Programmazione Lineare Intera Mista (MILP),
- risolverlo per mezzo di un software commerciale,
- OBJ: Totale costo annuo per acquisire, mantenere e gestire l'intero sistema,
- Tenendo conto dei vincoli economici: tasso di interesse, prezzo di gas ed elettricità, costo dei componenti e dell'integrazione impiantistica,.....
- tenendo conto dei vincoli fisici: richieste termiche ed elettriche delle utenze nel tempo, effetto della temperatura ambiente sull'efficienza delle turbine,.....

Sintesi di sistemi di cogenerazione distribuita e teleriscaldamento

DOMANDA ENERGETICA:

- L'intero anno è modellato con 3 "giornate tipo", per la domanda di energia, e 24 "giornate tipo" per il valore dell'energia elettrica ceduta alla rete.

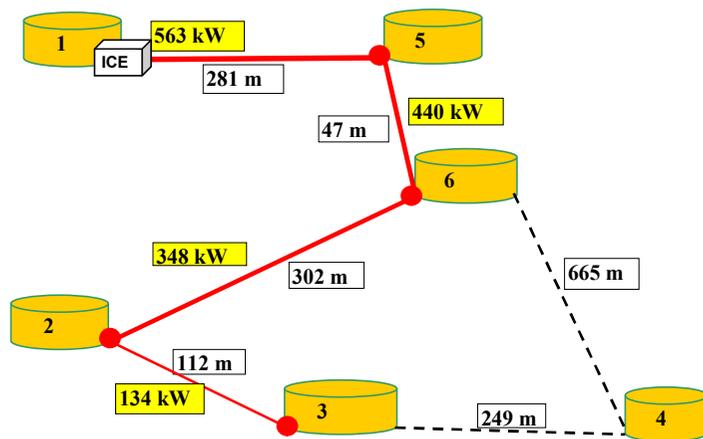


Il modello MILP

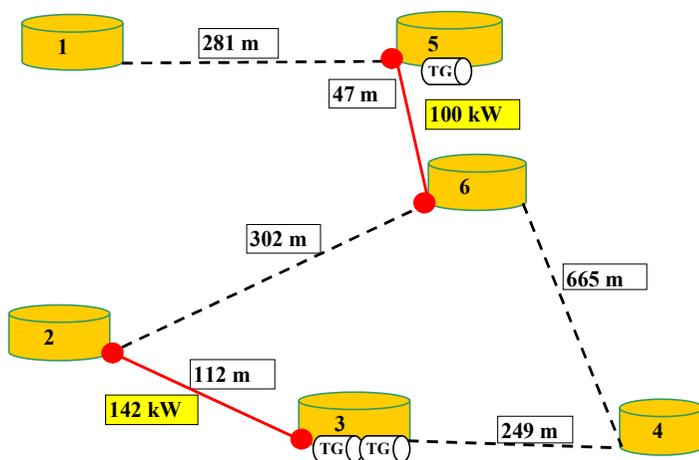
- OBJ risulta lineare verso le variabili che esprimono il consumo dei sistemi CHP;
- Variabili binarie vengono impiegate per esprimere la presenza/assenza di μ TG, ICE e tratti di rete,
- Oltre che allo stato acceso/spento delle macchine.
- In ciascun intervallo di tempo l'ottimizzazione deve tenere conto dei vincoli:
 - Le curve di prestazione dei componenti (variabili con la temperatura) devono essere rispettate;
 - La domanda termica deve essere soddisfatta dai cogeneratori e dalle caldaie ausiliarie;
 - La domanda elettrica deve essere soddisfatta dai cogeneratori e dall'integrazione con la rete;
 - I nodi termici devono essere bilanciati e tutti i rami presentano una perdita proporzionale alla loro lunghezza.

Sintesi di sistemi di cogenerazione distribuita e teleriscaldamento

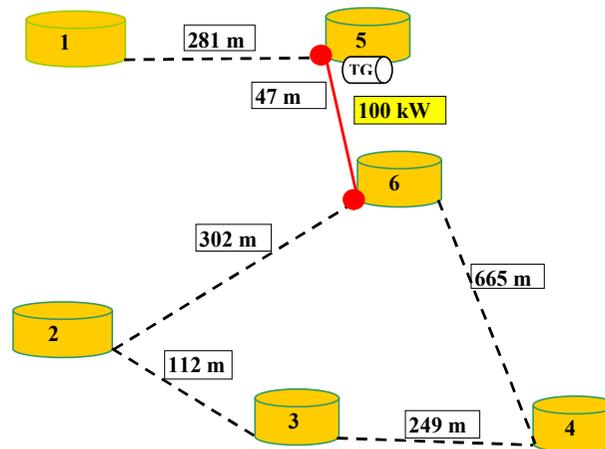
case a



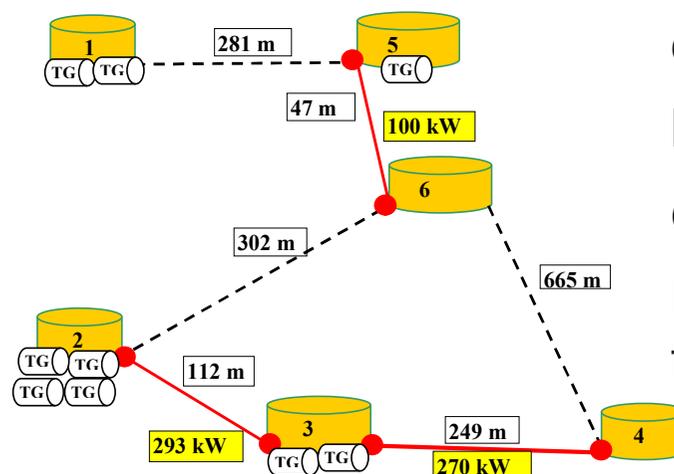
case c



case b



case d



Configurazioni ottimali al variare delle condizioni economiche al contorno:

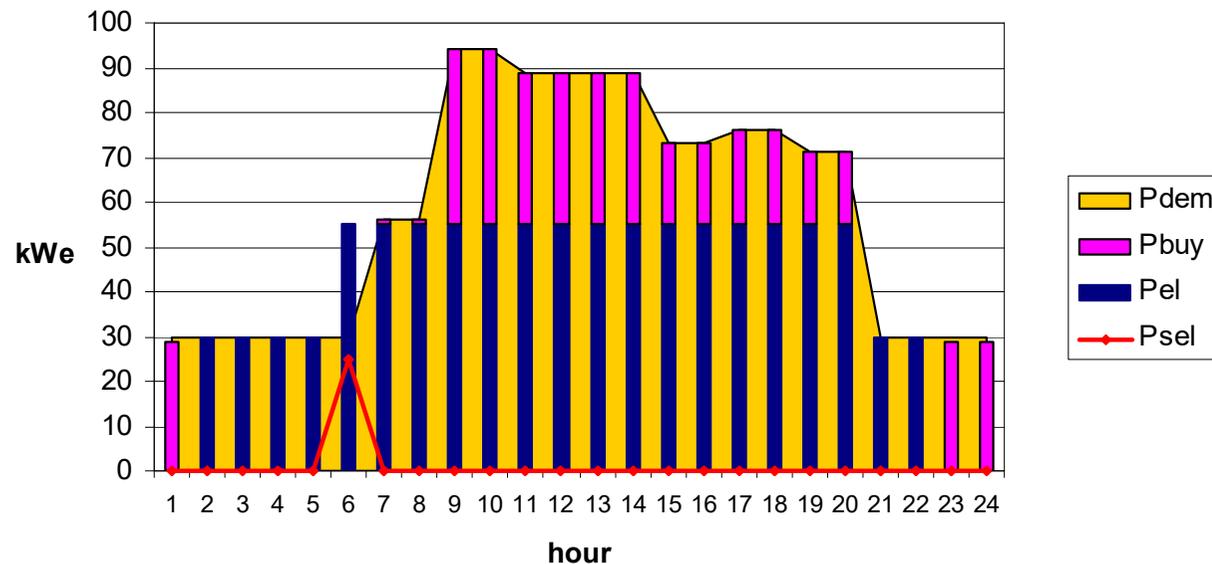
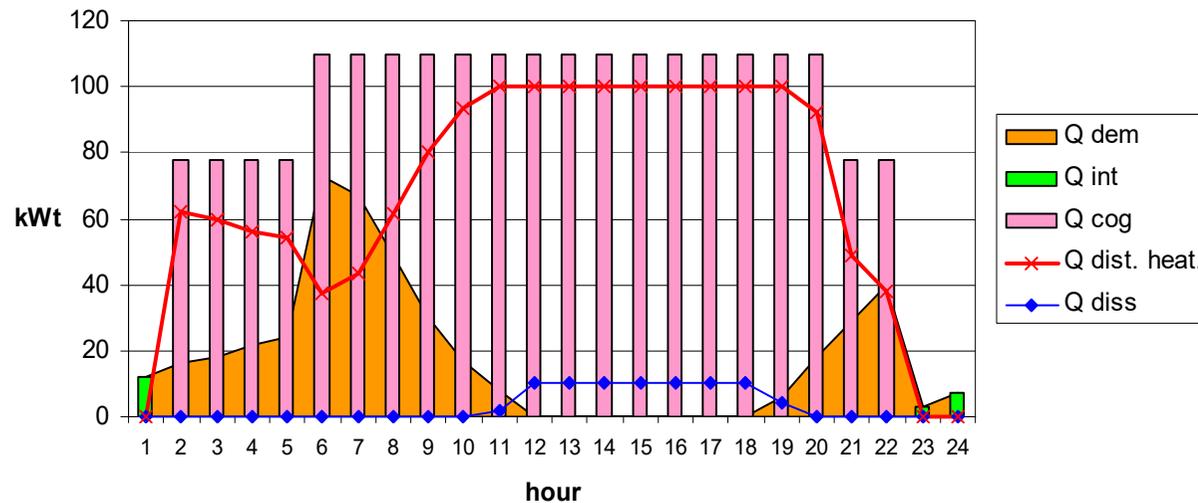
a+c) vita utile delle macchine e della rete stimate di 13/26 anni;

b) di 4,5/9 anni;

c) di 8/16 anni;

Risparmi variabili tra 1 – 8%.

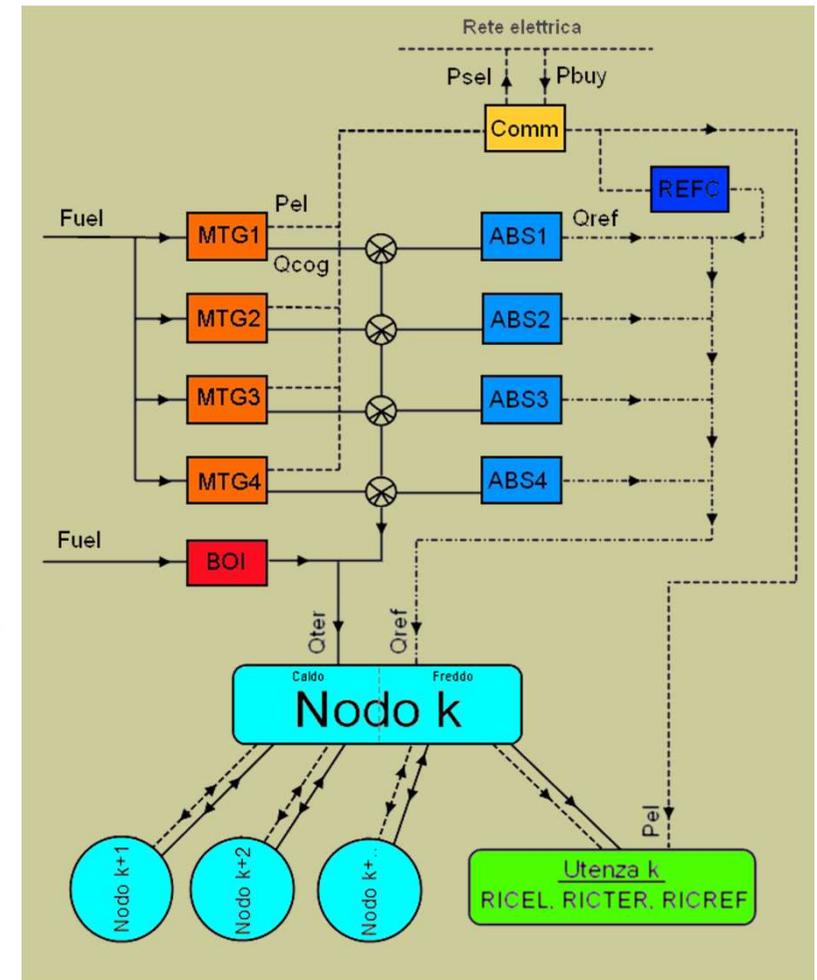
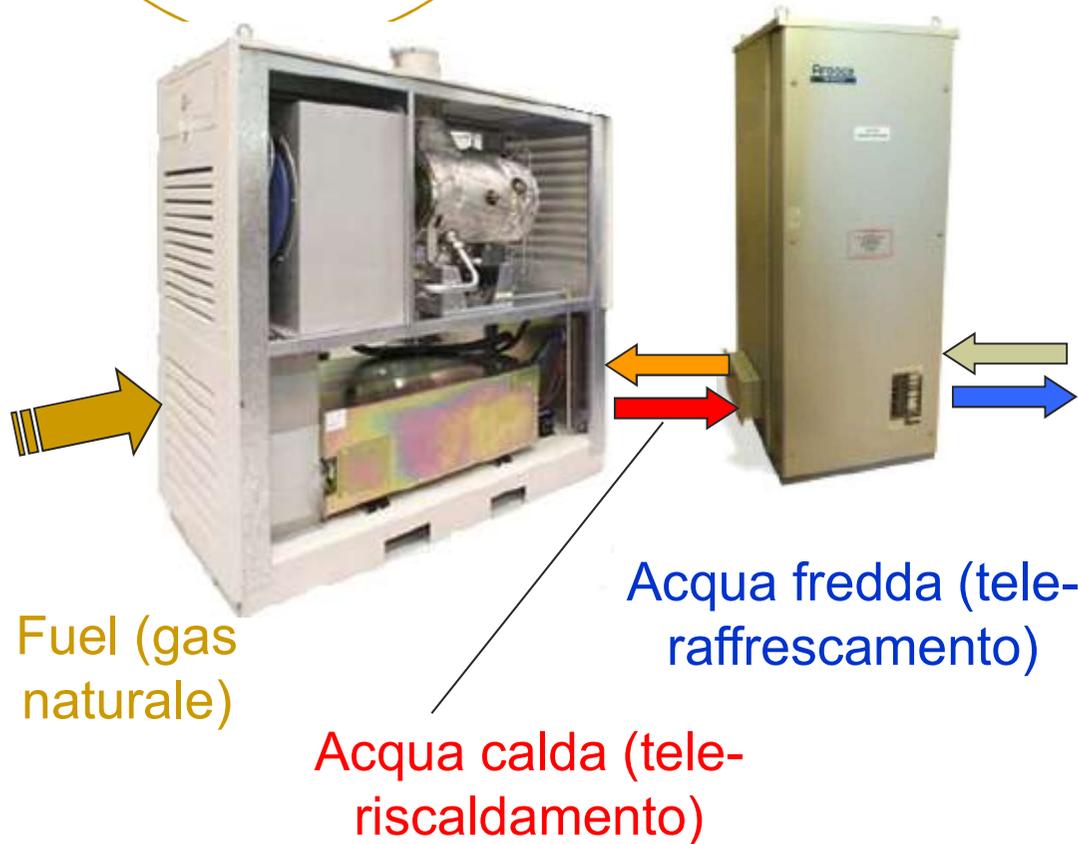
Sintesi di sistemi di cogenerazione distribuita e teleriscaldamento



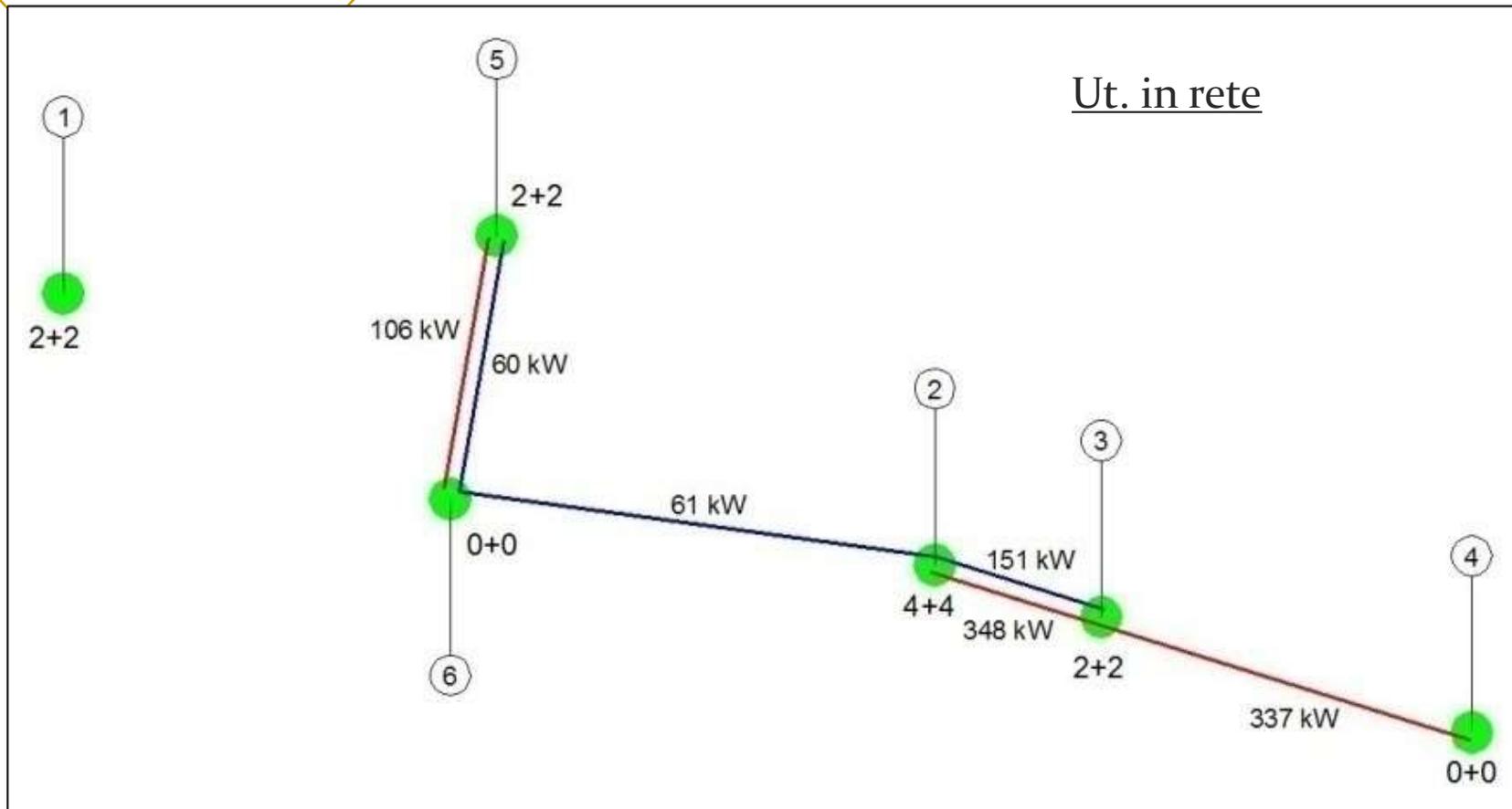
Esempio di gestione ottima per la sola μ TG presente nella configurazione b:

L'inseguimento termico NON è la soluzione ottimale (nemmeno quello elettrico).

Integrazione di CHP con macchine ad assorbimento e reti di tele-raffrescamento



Integrazione di CHP con macchine ad assorbimento e reti di tele-raffrescamento



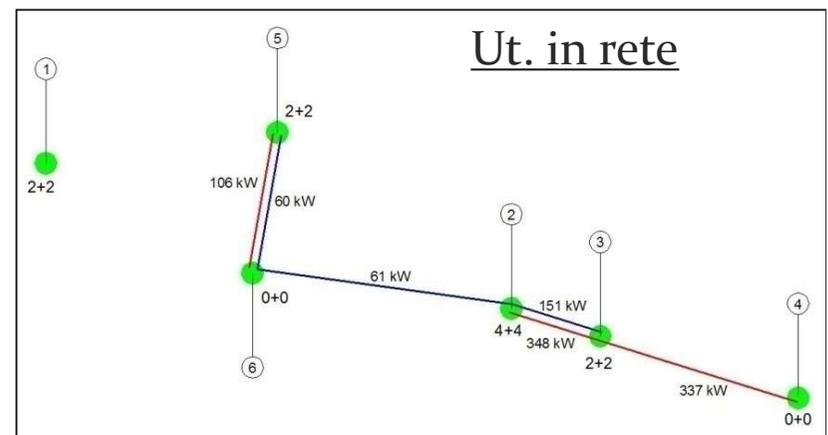
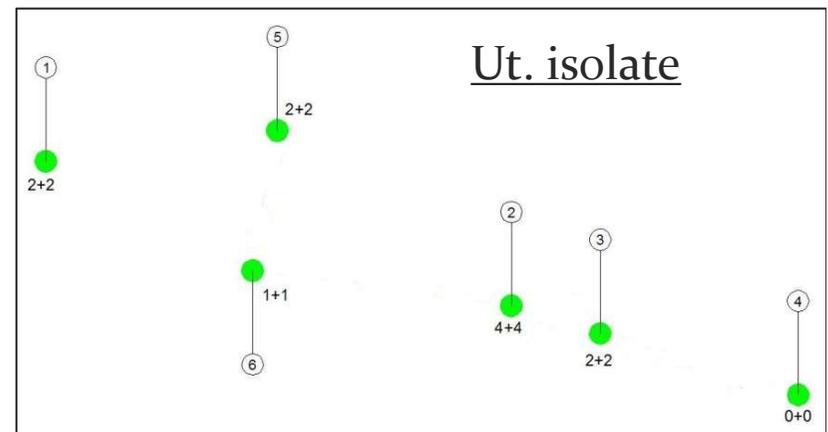
Anni di ammortamento capitale:
10 per le macchine, 20 per la rete

Integrazione di CHP con macchine ad assorbimento e reti di tele-raffrescamento

TRIGENERAZIONE APPLICATA AD UTENZE ISOLATE E AD UTENZE COLLEGATE IN RETE

	Ut. Isolate	Ut. In rete
n° μ TG	11	10
n° mAS	11	10
Investimento [€]	1.368.750	1.482.505
Costo operativo [€/anno]	685.332	632.858
Costo annuo [€/anno]	862.591	812.041
Indice di risparmio	26,87%	31,15%
IRE	9,73%	12,70%
TEP risparmiate	93	132
Pay Back Period [mesi]	33	32

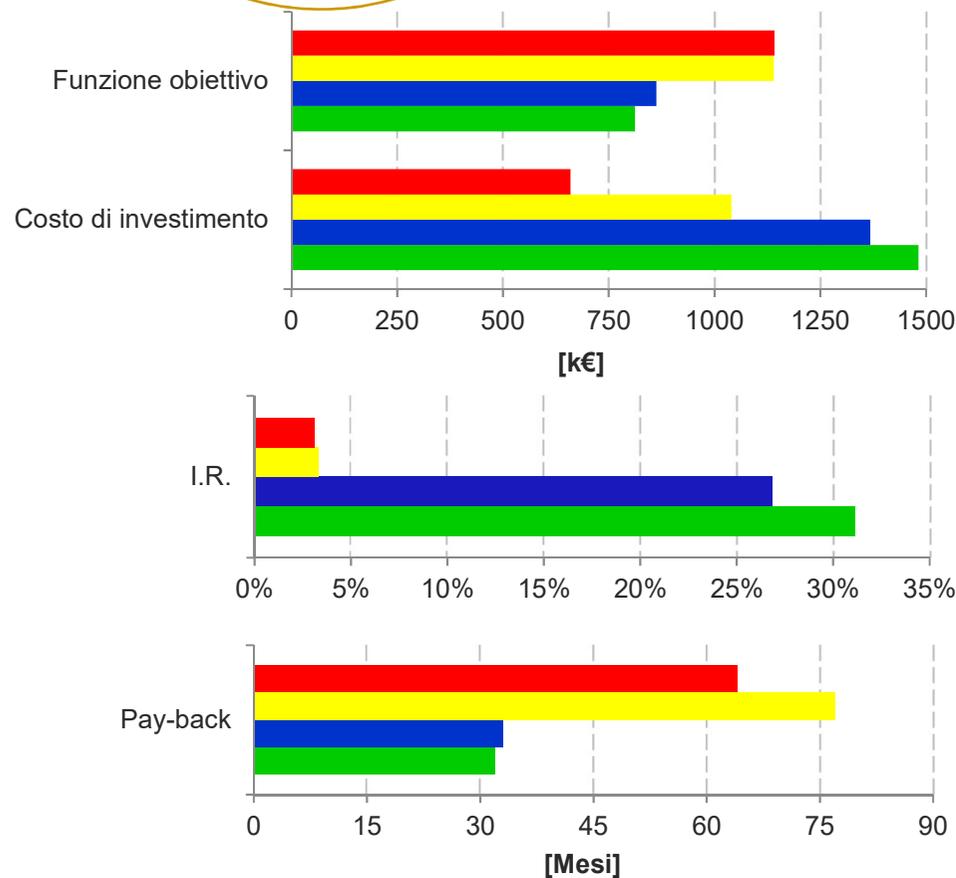
Anni di ammortamento capitale:
10 per le macchine, 20 per la rete



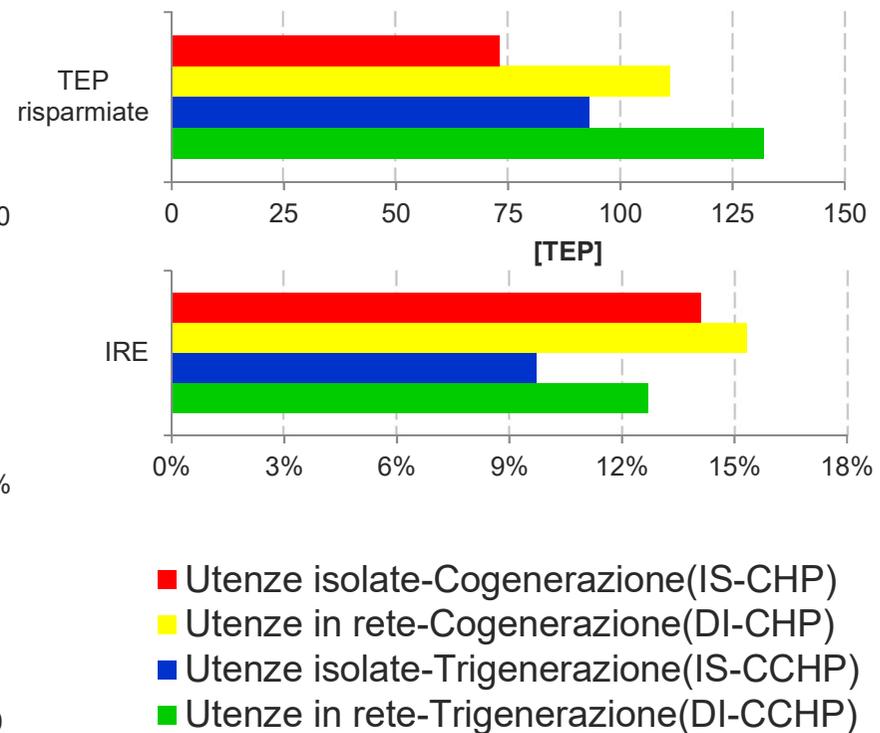
Integrazione di CHP con macchine ad assorbimento e reti di tele-raffrescamento

COGENERAZIONE VS TRIGENERAZIONE

Parametri economici



Parametri ambientali



Cogenerazione e trigenerazione

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



prof. Mauro REINI

docente di sistemi per l'energia e l'ambiente

Università di Trieste – Polo di Pordenone