

Università degli Studi di Trieste
Dipartimento di Ingegneria ed Architettura

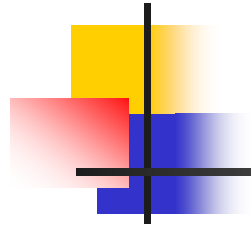
MACCHINE FRIGORIFERE AD ASSORBIMENTO

R. Taccani

Dipartimento di Ingegneria meccanica
Università di Trieste

Corso di Impiego industriale dell'energia
BOZZA AA 2019-2020

Materiale
progetto Solco



Introduzione

■ Testi di riferimento

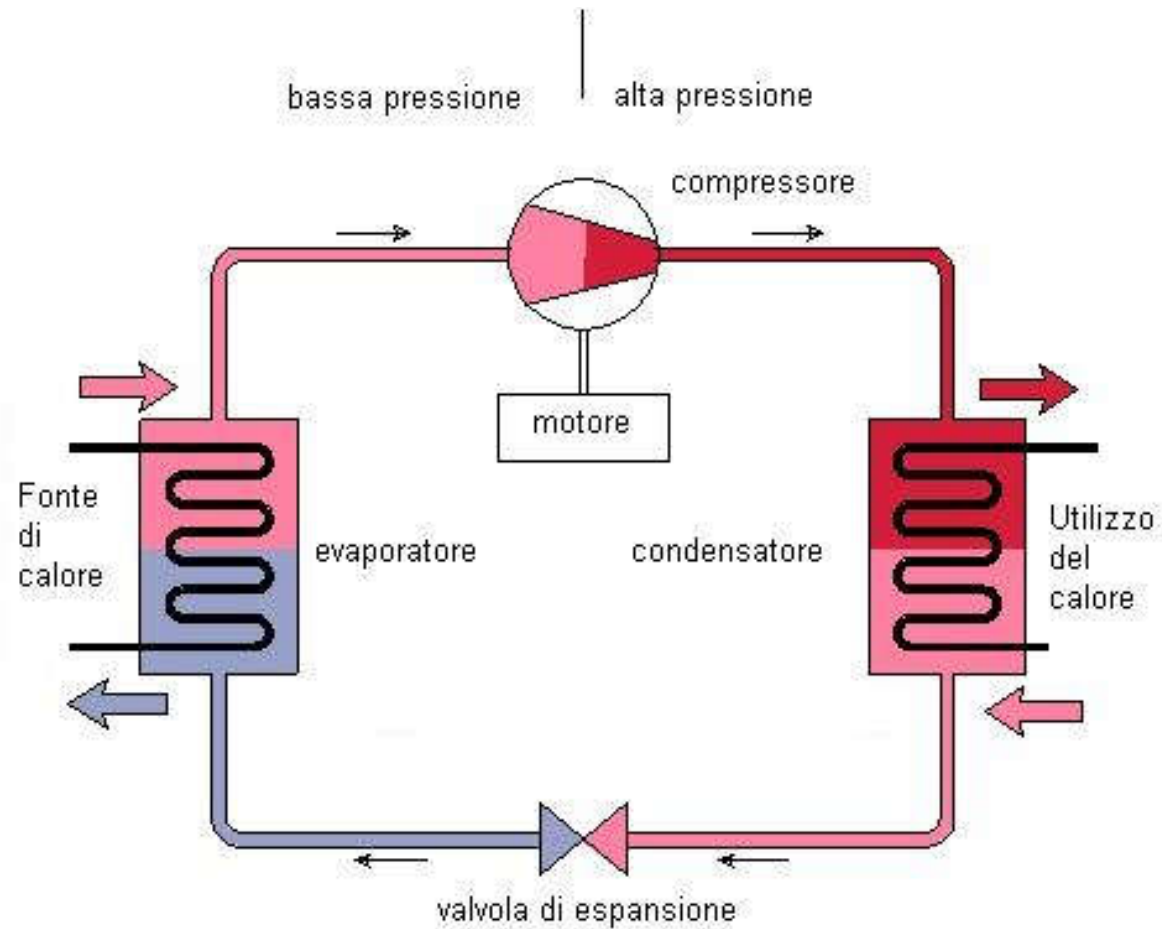
Cavallini - Mattarolo

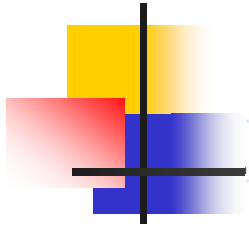
Termodinamica applicata

Presentazione

Cicli frigoriferi (chiller a compressione)

Richiami di fisica tecnica





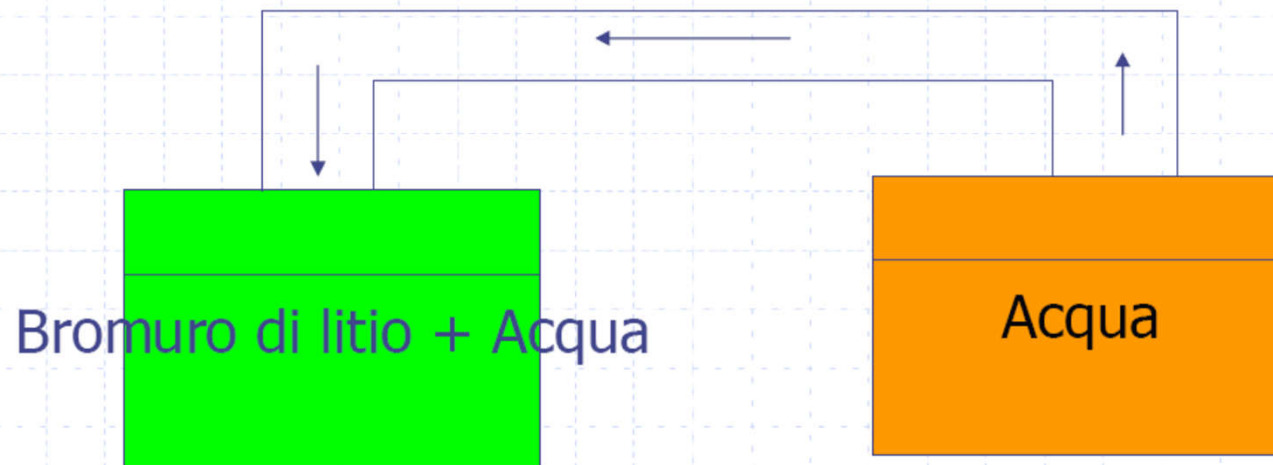
Macchine ad assorbimento (1)

In una macchina frigorifera ad assorbimento il fluido frigorifero è costituito da una miscela di due fluidi che devono formare una miscela omogenea in fase liquida. Il componente a più bassa tensione di vapore prende il nome di solvente, l'altro soluto. Nelle macchine ad assorbimento vengono solitamente impiegate queste coppie di fluidi:

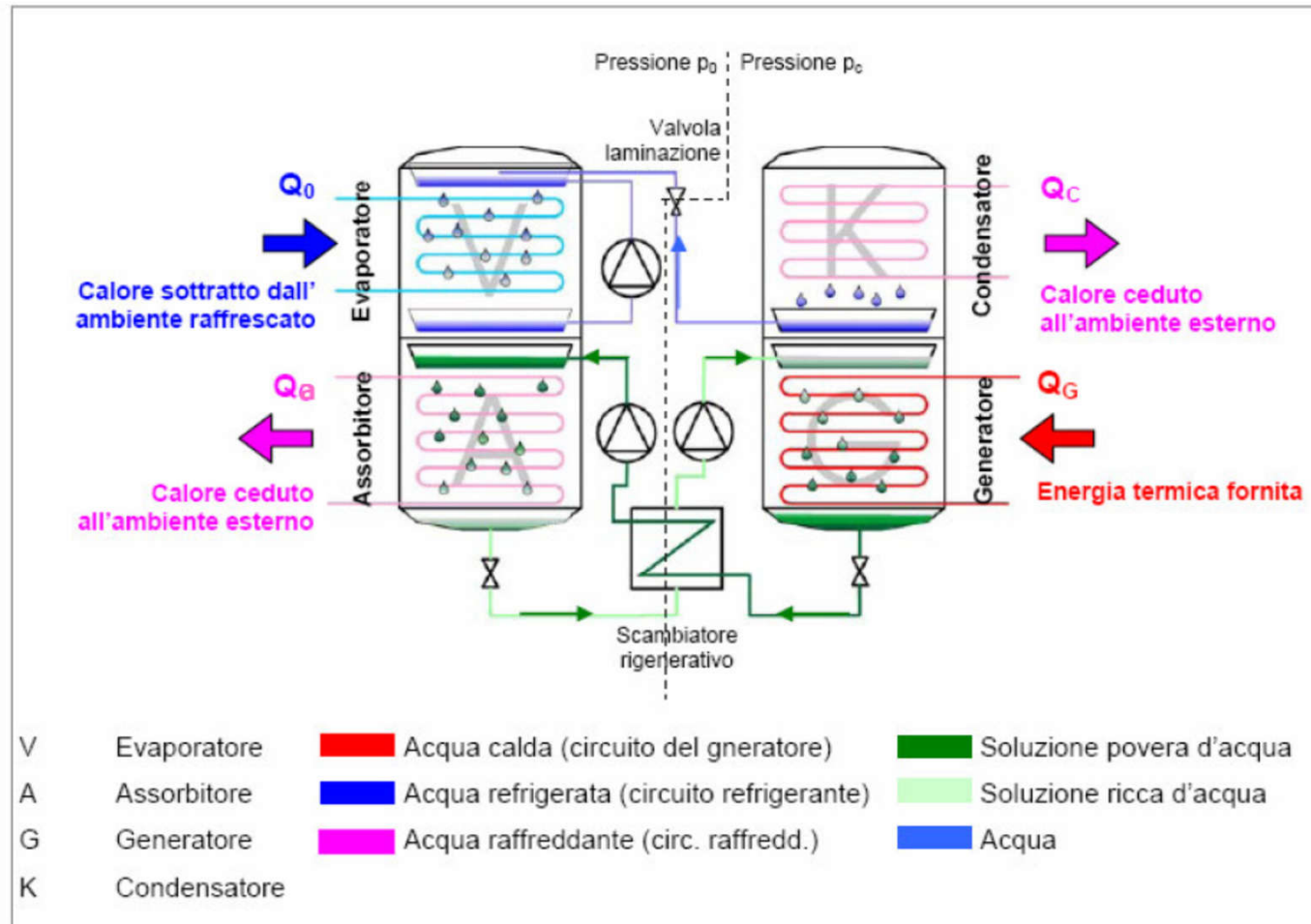
- 1) bromuro di litio – acqua;
- 2) acqua – ammoniacca.

Macchine ad assorbimento (2)

Invece di comprimere il vapore con il prelievo di calore dall'esterno a bassa temperatura mediante la somministrazione di energia meccanica si può pensare di sfruttare le capacità assorbenti di alcune soluzioni liquide.



Macchine ad assorbimento (4)

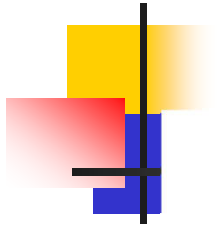




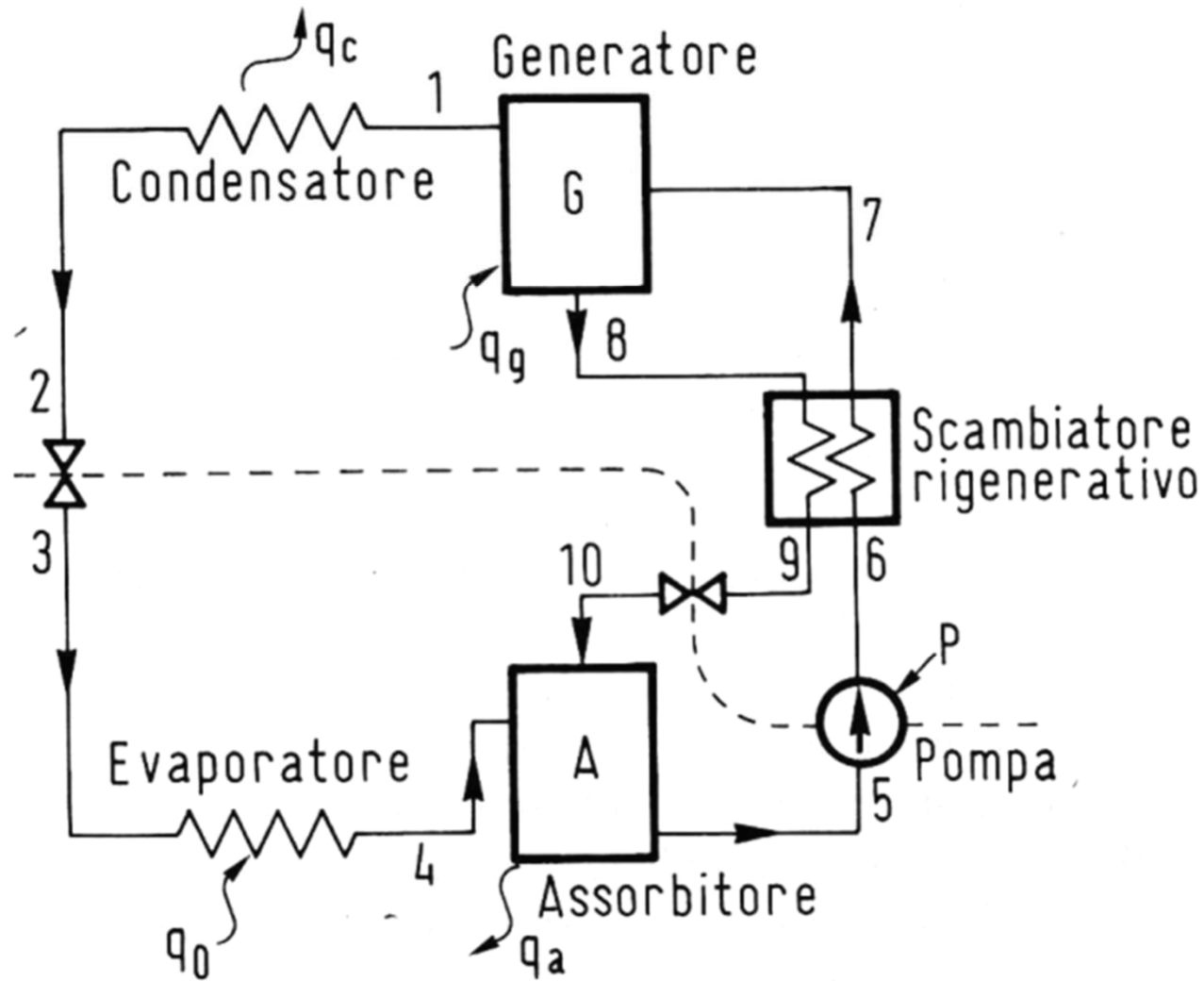
Macchine ad assorbimento (5)

Le macchine ad assorbimento sfruttano lo stesso principio fisico per il quale a basse pressioni assolute l'acqua bolle a bassa temperatura.

Nella sua forma più semplice una macchina ad assorbimento è costituita da un evaporatore, da un assorbitore, da un condensatore, da un generatore, da alcune pompe e da una serie di dispositivi di controllo.



Schema impianto



Coefficiente di effetto utile ideale

$$\varepsilon_t = \frac{q_0}{q_g + |P_p|} \simeq \frac{q_0}{q_g}$$

Primo principio

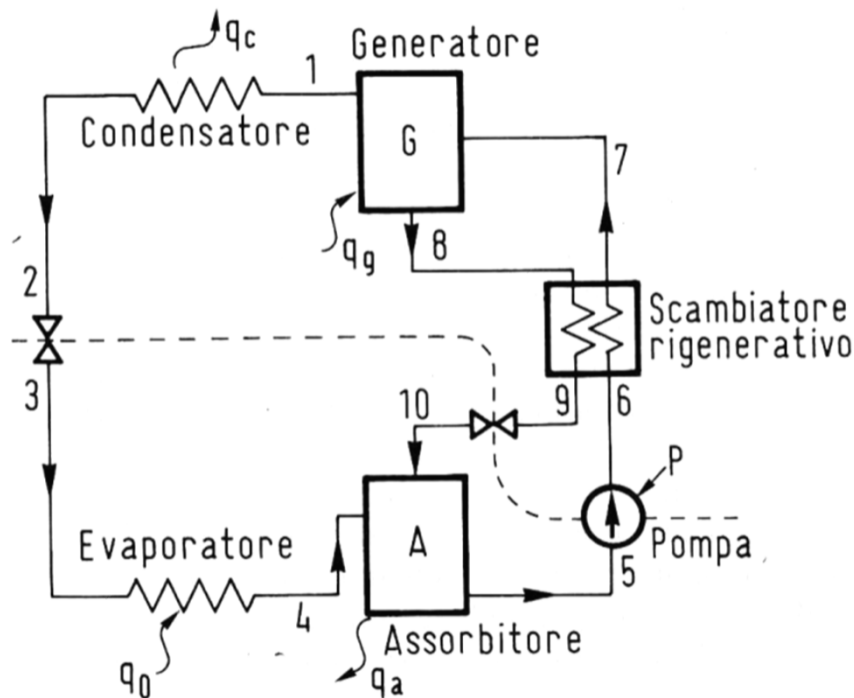
$$q_0 + q_g = |q_a| + |q_c|.$$

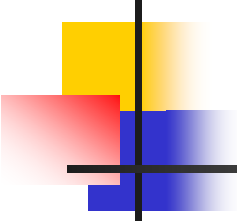
Secondo principio

$$\frac{q_0}{T_0} + \frac{q_g}{T_g} = \frac{|q_a| + |q_c|}{T_a}$$

$$\frac{q_0}{T_0} + \frac{q_g}{T_g} = \frac{q_0 + q_g}{T_a}$$

$$\varepsilon_t^* = \frac{q_0}{q_g} = \frac{\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g}}{\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_a}}.$$





Si osservi innanzitutto come il valore del coefficiente di effetto utile ideale ε_i^* corrisponda al rapporto tra le lunghezze dei due segmenti indicati nel diagramma di figura 12.23, dato che in tale diagramma la scala delle ascisse è lineare nelle quantità $1/T$.

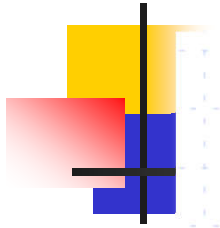
Si osservi inoltre che se T_g tende a diventare infinitamente grande, il valore di ε_i^* tende a $T_0/(T_a - T_0)$ che è il valore che compete al coefficiente di effetto utile di un ciclo inverso di Carnot ε_c .

Quanto più T_g è bassa, tanto più il coefficiente di effetto utile di un ciclo ad assorbimento è inferiore ad ε_c . Ad esempio si ricava per un ciclo inverso di Carnot con $T_0 = 263$ K e $T_a = 298$ K:

$$\varepsilon_c = \frac{263}{35} = 7,5$$

mentre se $T_g = 373$ K si ha per il corrispondente ciclo ad assorbimento:

$$\varepsilon_i^* = \frac{\frac{1}{298} - \frac{1}{373}}{\frac{1}{263} - \frac{1}{298}} = 1,5 .$$



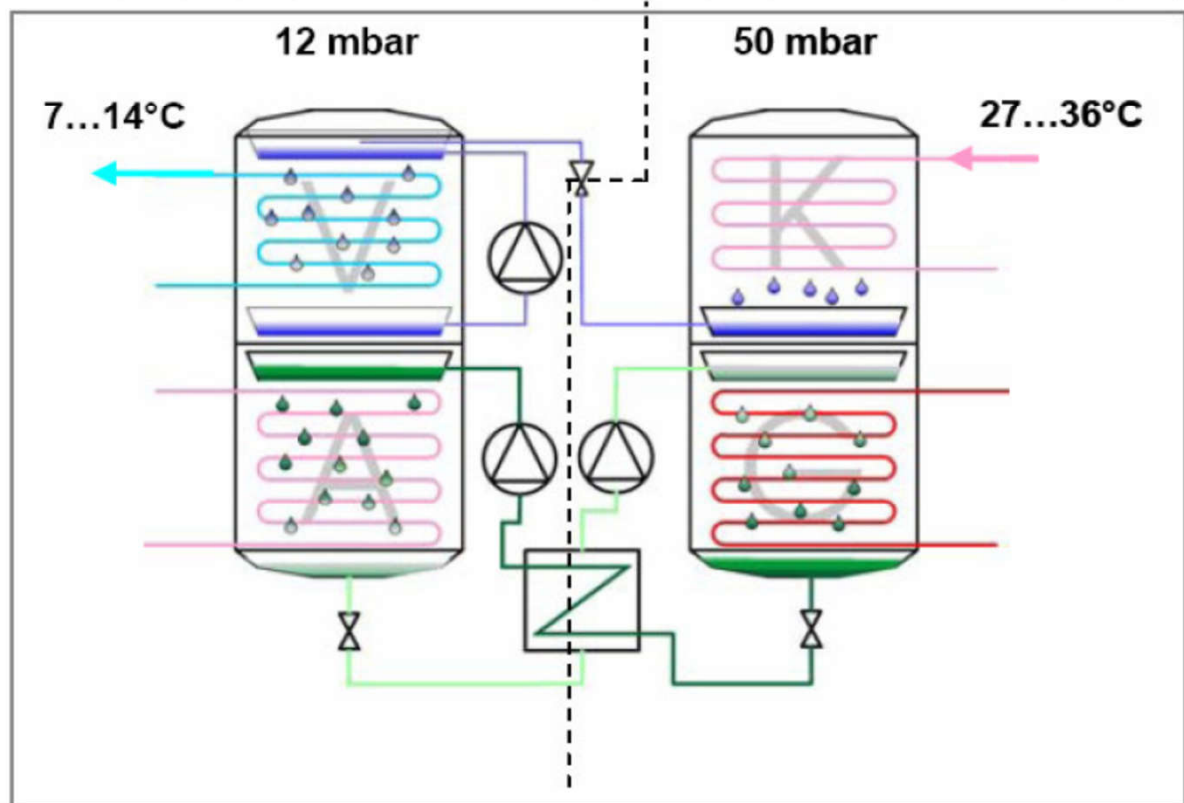
Macchine ad assorbimento (10)

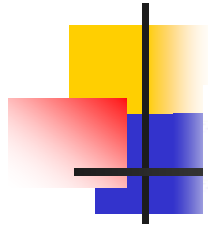
Vista la ben diversa qualità dell'energia richiesta per il funzionamento della macchina frigorifera ad assorbimento rispetto a quella a compressione di vapore, i COP delle due macchine non possono essere le macchine frigorifere a compressione necessitano per il loro funzionamento di energia meccanica per la compressione (forma di energia pregiata);

- l'energia meccanica è resa disponibile nella maggior parte dei casi dall'utilizzo di motori elettrici, e l'energia elettrica è a sua volta ricavata in gran parte da impianti termoelettrici, alimentati cioè da energia sottoforma termica;
- nelle centrali termoelettriche, la trasformazione da calore a elettricità avviene con un rendimento medio nazionale che si aggira intorno al 40 %

Macchine ad assorbimento (11)

Il ciclo termodinamico lavora tra due valori di pressione, P_c e P_0 : la linea tratteggiata nello schema separa i componenti che operano a diversa pressione.

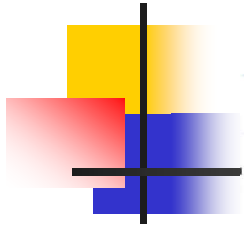




Macchine ad assorbimento (12)

La pressione P_c (generatore e condensatore) è determinata dalla temperatura di condensazione dell'acqua nel condensatore e quindi, in definitiva, è determinata dalla temperatura dell'acqua disponibile nel circuito di raffreddamento.

La pressione P_0 (evaporatore e assorbitore) è determinata dalla temperatura di evaporazione dell'acqua e quindi, in definitiva, dalla temperatura a cui è richiesta la produzione del freddo.



Macchine ad assorbimento (14)

L'assorbitore è una tecnologia affidabile e consolidata negli anni.

- 1777: sviluppo della teoria della refrigerazione per assorbimento utilizzando acido solforico come assorbente (E. Nairne, Francia);
- 1860: prima macchina frigorifera ad assorbimento con soluzione ad acqua-ammoniaca (Ferdinand Carré, Francia);
- 1945: prima macchina ad assorbimento a LiBr di grande potenza (USA);
- 1958: prima macchina ad assorbimento a LiBr a gas, a fiamma diretta (Giappone);
- 1961: prima macchina ad assorbimento a doppio effetto, alimentata a vapore (USA);
- 1968: prima macchina ad assorbimento a doppio effetto a gas, a fiamma diretta (Giappone);
- 1972: prima macchina a gas, fiamma diretta produzione combinata freddo / caldo (Giappone).

Macchine ad assorbimento (16)

Modelli monostadio

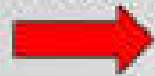


Macchine ad assorbimento (17)

Modelli bi-stadio

ALIMENTAZIONE: metano, GPL

100 kW combustibile



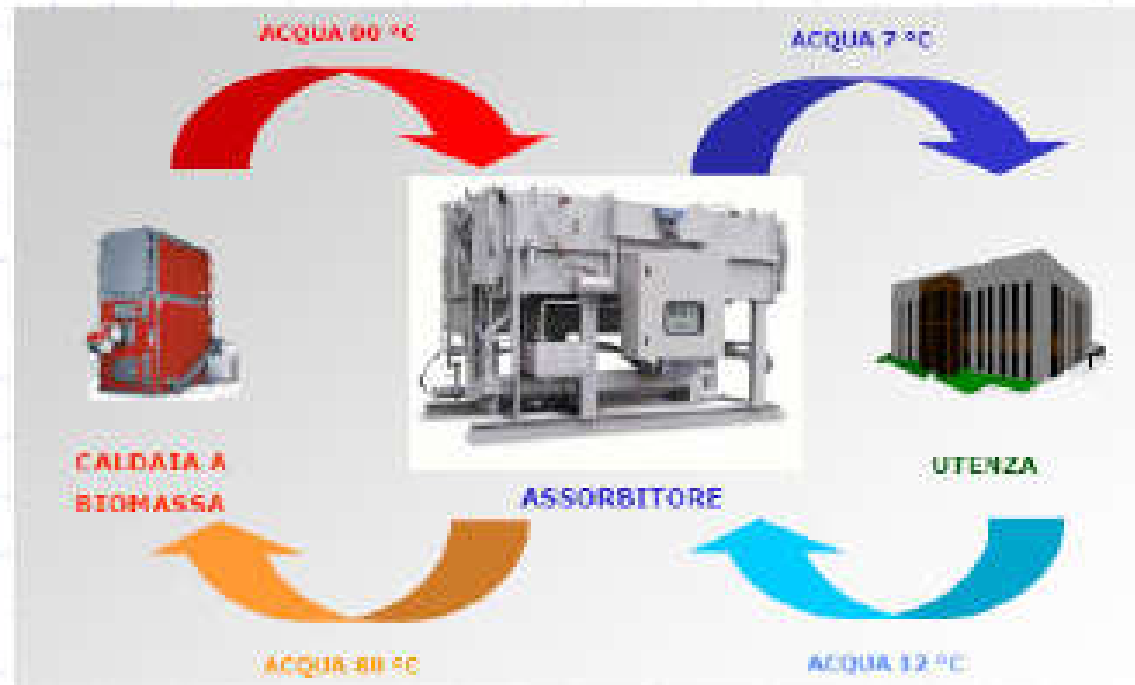
100 kW freddi



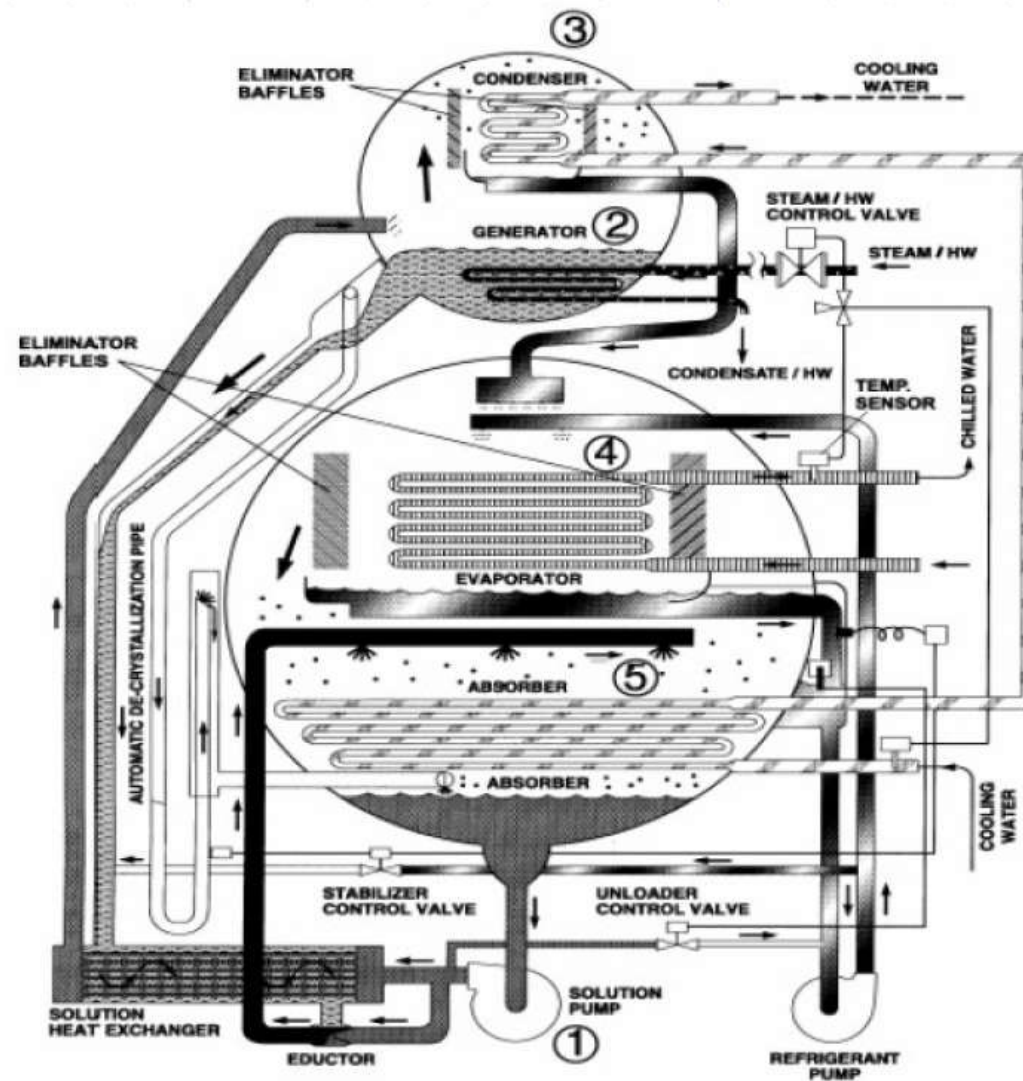
COP = 1,00

Macchine ad assorbimento (18)

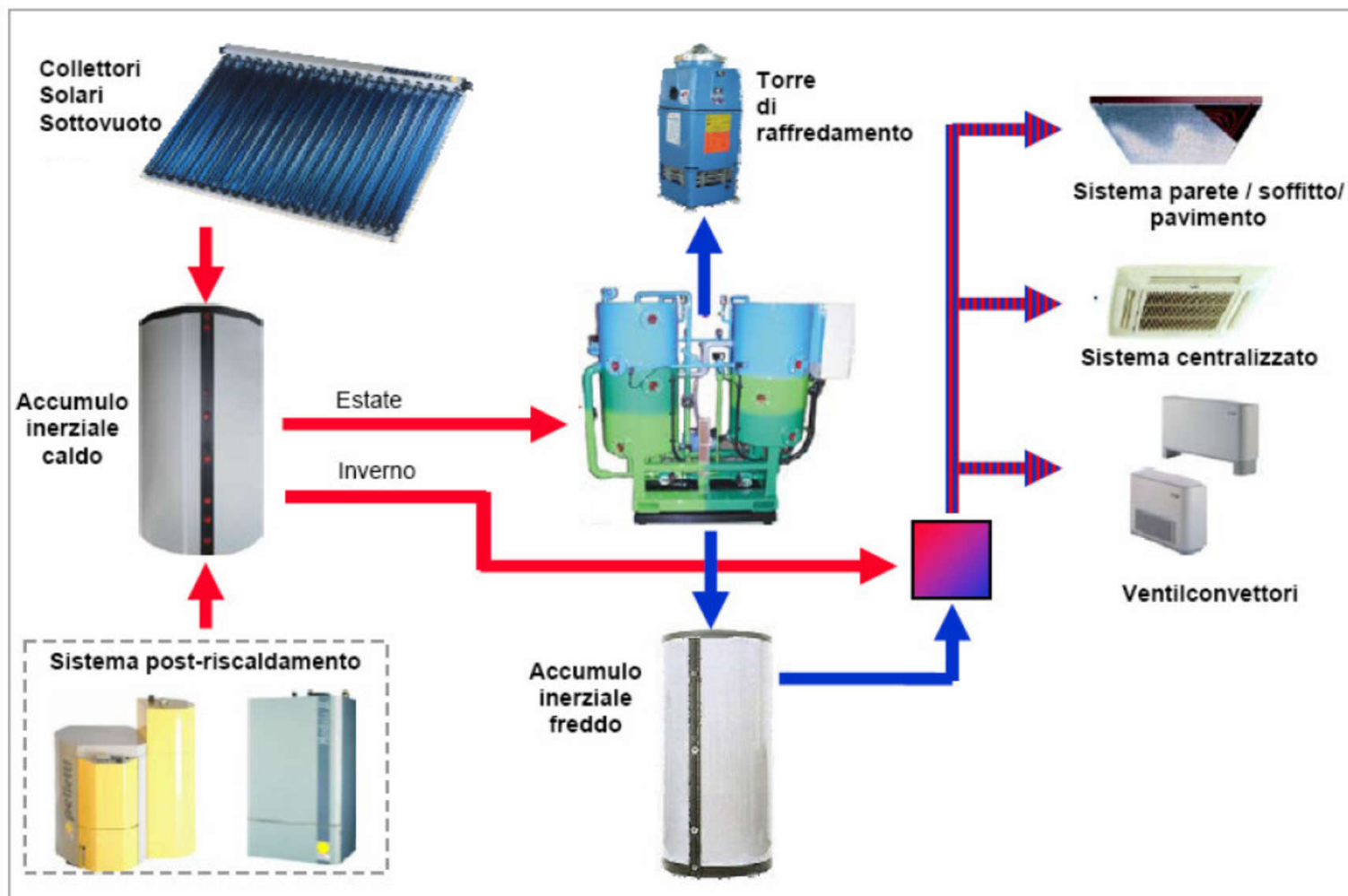
Possibili diversi abbinamenti: biomassa, solare, ecc.



Macchine ad assorbimento (21)



Macchine ad assorbimento Esempi (1)



Macchine ad assorbimento Tipologie (1)



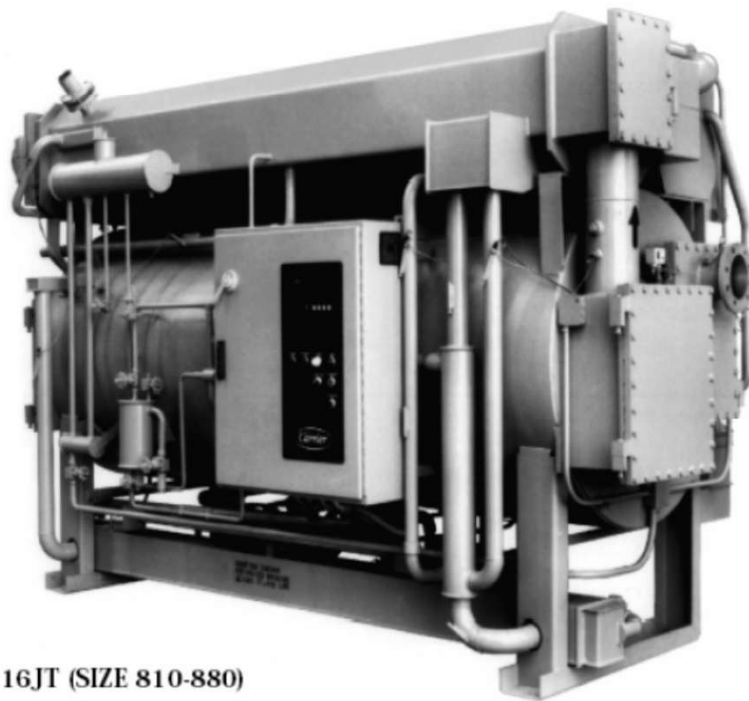
- **Taglia:** 28 kW freddi-48 kW caldi
- **Alimentazione:** Gas
- **Scambio:** Aria-Acqua; Acqua-Acqua
- **Destinazione:** freddo; caldo;
- **Modularità:** No
- **COP:** 1.60 caldo -0.95 freddo

Macchine ad assorbimento Tipologie (2)



- **Taglia:** 17 kW freddi
- **Alimentazione:** Gas
- **Scambio:** Aria-Acqua;
- **Funzione:** freddo
- **Modularità:** Sì
- **COP:** 0.65 freddo

Macchine ad assorbimento Tipologie (3)



16JT (SIZE 810-880)

- **Taglia:** 150 – 5980 kW freddi
- **Alimentazione:** Gas; Acqua calda; vapore
- **Scambio:** Acqua-Acqua
- **Funzione:** freddo
- **Controllo:** continuo
- **COP:** 0.7 ; 1.1

Macchine ad assorbimento con solar cooling



Le Macchine ad Assorbimento possono creare il freddo mediante l'energia del sole.

I costi di investimento ammontano a circa ~ 1800 €/kW freddo / ~ 880 €/kW termico:





Costi comparati

Tecnologia	€/kW
Caldaie	25/60
Caldaie a Condensazione	120
PCC Aria-Aria (2-4 kW)	80-350
PCC Aria-Acqua (17 kW)	250
PCA H2O-NH3 (17 kW freddo- 35kW caldo)	580 _(freddo) - 280 _(caldo)
Chiller H2O-LiBr (250 kW)	600 _(freddo)



Conclusioni

Vantaggi Compressione:

- Costo di investimento minore.
- Prestazioni superiori in raffrescamento.
- Grande scelta di taglie.
- Manutenzione non specialistica.
- Assenza di fumi di scarico (salvo modelli con motore a C.I.)
- Fluidi non pericolosi (salvo Ammoniaca anidra)

Vantaggi Assorbimento:

- I fluidi impiegati nelle macchine ad assorbimento non danneggiano l' ozono e non contribuiscono all' effetto serra.
- Le prestazioni in riscaldamento sono superiori ed in ogni caso risentono meno delle variazioni climatiche.
- E' possibile diversificare le fonti energetiche.
- Maggiore silenziosità e durata e minore manutenzione.
- Possibilità di recuperare calore di scarto (trigenerazione)
- Il Solar Cooling è una tecnologia molto attrattiva per il futuro.