



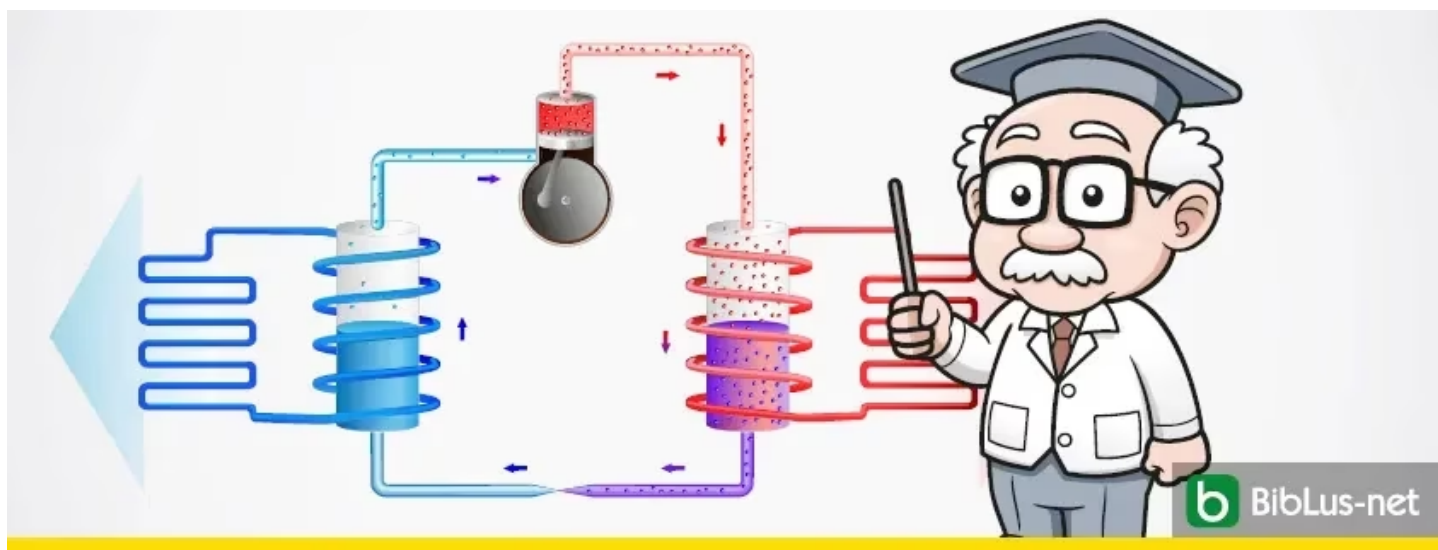
Certificazione energetica

# Macchine frigorifere e pompe di calore

PUBBLICATO DA

Nataschia Martinelli

24 LUGLIO 2022



**Focus sulle principali tipologie di macchine frigorifere e pompe di calore: schemi di funzionamento, caratteristiche e prestazione energetica**

Il sistema di generazione di un impianto di climatizzazione di un edificio può essere costituito da una pompa di calore o macchina frigorifera.

La macchina frigorifera e la pompa di calore sono spesso costituite da un unico apparato invertibile, con duplice funzionamento, rispettivamente raffrescamento estate e riscaldamento in inverno, basato sul trasferimento di calore da zone a temperatura inferiore verso zone a temperatura superiore attraverso lavoro fornito da

un serbatoio di energia meccanica. Ciò infatti non sarebbe possibile spontaneamente in quanto si oppone al II principio della termodinamica secondo il quale il calore fluisce spontaneamente da zone a temperature superiore verso zone a temperatura inferiore.

ACCA software S.p.A.

Come primo approccio, per comprendere meglio il funzionamento e le finalità dei sistemi sopra indicati, è possibile ricorrere a dei semplici esempi.

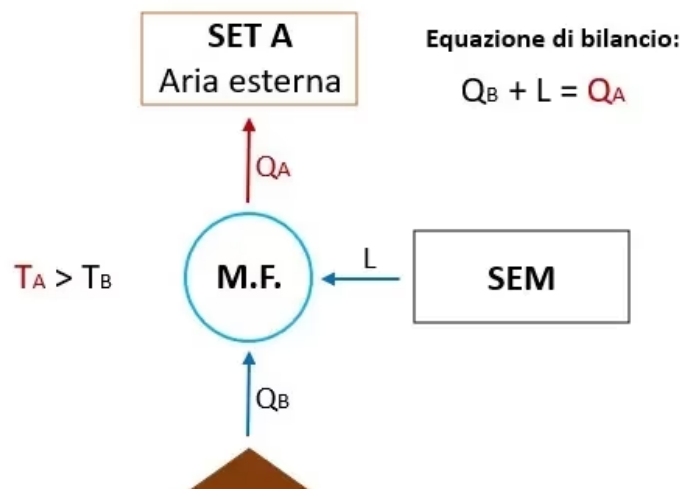
## Macchina frigorifera

Si consideri un edificio in regime estivo, la temperatura esterna è maggiore di quella interna.

Nell'esempio, il condizionatore autonomo è una macchina frigorifera che sottrae calore al locale in cui è posizionato (SETB) per raffrescarlo e mantenerlo ad una temperatura tale da garantire il comfort termico degli utenti (circa 26°C), smaltendo infine l'energia termica assorbita all'aria esterna (SETA).

Essendo la temperatura del locale (TB) inferiore rispetto a quella dell'aria esterna (TA), affinché il sistema funzioni correttamente ed il passaggio di calore avvenga dall'interno verso l'esterno, c'è bisogno di lavoro (L) fornito da un serbatoio di energia meccanica (SEM). Il locale e l'aria esterna possono essere considerati serbatoi di energia termica (SET).

Quanto detto è schematizzato come segue:

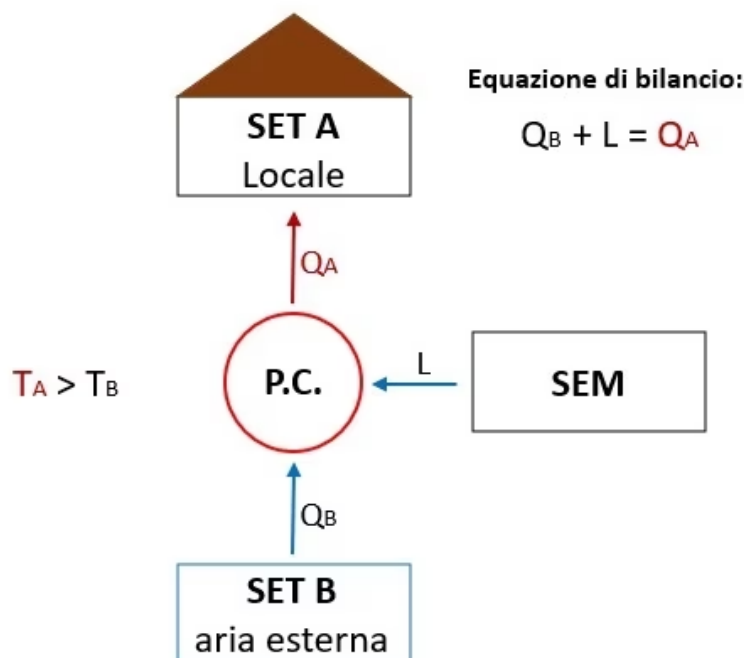




## Pompa di calore

Si consideri un edificio in regime invernale, la temperatura interna è maggiore di quella esterna.

Per il II principio della termodinamica ci sarà del calore che dall'interno si disperderà verso l'esterno. Al fine di mantenere all'interno del locale una temperatura costante ed idonea a garantire il benessere termico degli occupanti (circa 20°C), è necessario compensare la quantità di calore dispersa all'esterno. La pompa di calore dunque sottrae calore all'aria esterna e lo riversa all'interno dell'edificio.



Il principio di funzionamento della macchina frigorifera e della pompa di calore è lo stesso, cambia la finalità: la macchina frigorifera ha lo scopo di raffreddare, ossia sottrarre calore alla zona a temperatura inferiore smaltendolo poi in quella avente temperatura superiore; la pompa di calore deve invece riscaldare, fornire calore alla zona a temperatura superiore sottraendolo a quella a temperatura inferiore.

Esistono molteplici tipologie di macchina frigorifera/pompa di calore, a seconda del funzionamento e della modalità con cui viene fornita l'energia meccanica:

- Macchine frigorifere/pompe di calore a compressione di vapore **elettriche** (il motore del compressore è alimentato elettricamente) **EHP (Electric Heat Pump)**;
- Macchine frigorifere/pompe di calore a compressione di vapore a **gas** (il motore del compressore è alimentato da un sistema a combustione interna) **GHP (Gas Heat Pump)**;
- Macchine frigorifere/pompe di calore ad **assorbimento** (il compressore è sostituito da un assorbitore e un generatore) **AHP (Absorption Heat Pump)**.

### Valutazione della prestazione energetica

La prestazione energetica della macchina frigorifera o pompa di calore si misura attraverso un coefficiente adimensionale pari al rapporto tra la finalità e la spesa energetica:

- **Macchina frigorifera** – l'efficienza energetica si misura attraverso il parametro **EER (energy efficiency ratio)** che rappresenta il rapporto tra l'energia termica da sottrarre al SET a temperatura inferiore e l'energia meccanica spesa:

$$EER = \frac{Q_B}{L}$$

- **Pompa di calore** – il **COP, coefficiente di prestazione**, rappresenta il rapporto tra l'energia termica da fornire al SET a temperatura superiore e l'energia meccanica spesa:

$$COP = \frac{Q_A}{L} = \frac{Q_B + L}{L} = 1 + \frac{Q_B}{L} \geq 1$$

Se consideriamo una macchina frigorifera e una pompa di calore reversibili, ossia *ideali*, il rendimento è funzione solo delle temperature dei SET A e B:

$$EER_{rev} = \frac{Q_B}{L_{rev}} = \frac{T_B}{T_A - T_B}$$

–  $L_{rev}$  rappresenta il minimo lavoro necessario per sottrarre la quantità di energia termica  $Q_B$  al SET a temperatura  $T_B$

$$COP_{rev} = \frac{Q_A}{L_{rev}} = \frac{T_A}{T_A - T_B}$$

–  $L_{rev}$  rappresenta il minimo lavoro necessario per fornire la quantità di energia termica  $Q_A$  al SET a temperatura  $T_A$ .

Dalle formule, emerge che l'efficienza energetica della macchina frigorifera ideale diminuisce all'aumentare della temperatura esterna  $T_A$ , perché aumenta il denominatore; analogamente, per la pompa di calore, il  $COP$  diminuisce al diminuire della temperatura esterna  $T_B$ . Il sistema va in sofferenza quando vi è la maggiore necessità di raffrescare o riscaldare!

Il rapporto tra la prestazione di una macchina reale e quella di una macchina ideale è definito *rendimento di secondo principio*, è minore o uguale all'unità e ci dice quanto la macchina reale si discosta da quella ideale:

$$0 \leq EER < EER_{rev} < \infty$$

$$1 \leq COP < COP_{rev} < \infty$$

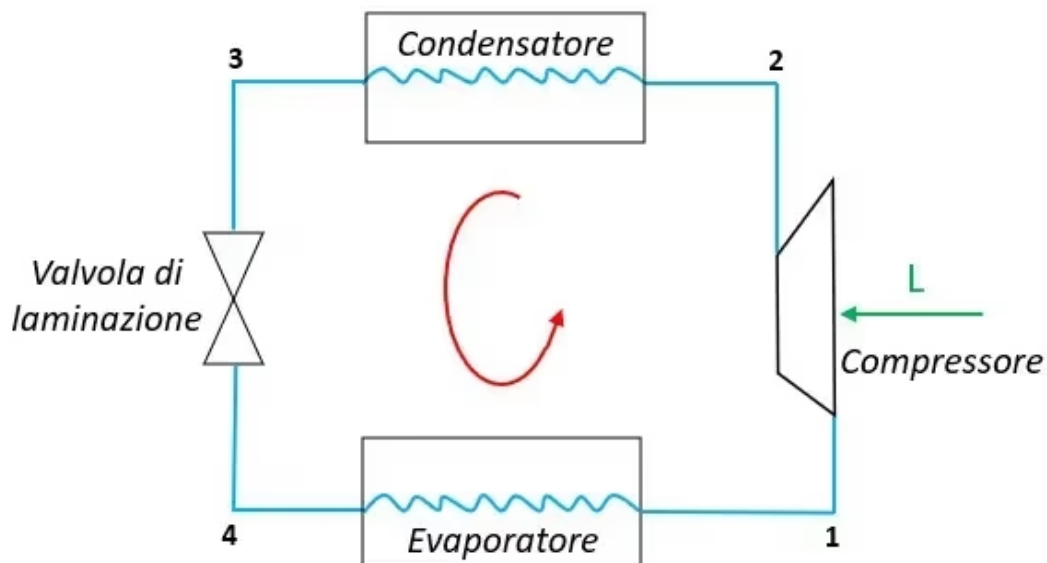
Per facilitare la scelta della macchina frigorifera e/o pompa di calore adatta al miglioramento dell'efficienza energetica del tuo edificio, puoi utilizzare un [software per la certificazione energetica](#) al top della tecnologia e della certezza normativa che dispone di una libreria con oltre 1000 oggetti BIM definiti per proprietà e caratteristiche tecniche direttamente dall'azienda produttrice.

**Macchine frigorifere/pompe di calore a compressione di vapore**

Il funzionamento della macchina frigorifera/pompa di calore si basa sul passaggio di fase di un fluido refrigerante all'interno di un ciclo di Carnot che, in parte dei casi, è invertibile. L'inversione del ciclo permette il duplice funzionamento del sistema, pompa di calore in inverno (riscaldamento) e macchina frigorifera in estate (raffrescamento).

Il circuito è costituito da quattro elementi:

- Evaporatore
- Compressore (alimentato da motore elettrico o a gas)
- Condensatore
- Valvola di laminazione



Partendo dall'evaporatore il fluido refrigerante si trova nella fase di vapore saturo (4), in questa sede viene sottratto calore, il fluido evapora e passa nella condizione di vapore saturo secco (1); successivamente attraversa il compressore e si comprime, la pressione aumenta e il fluido passa nelle condizioni di vapore surriscaldato (2).

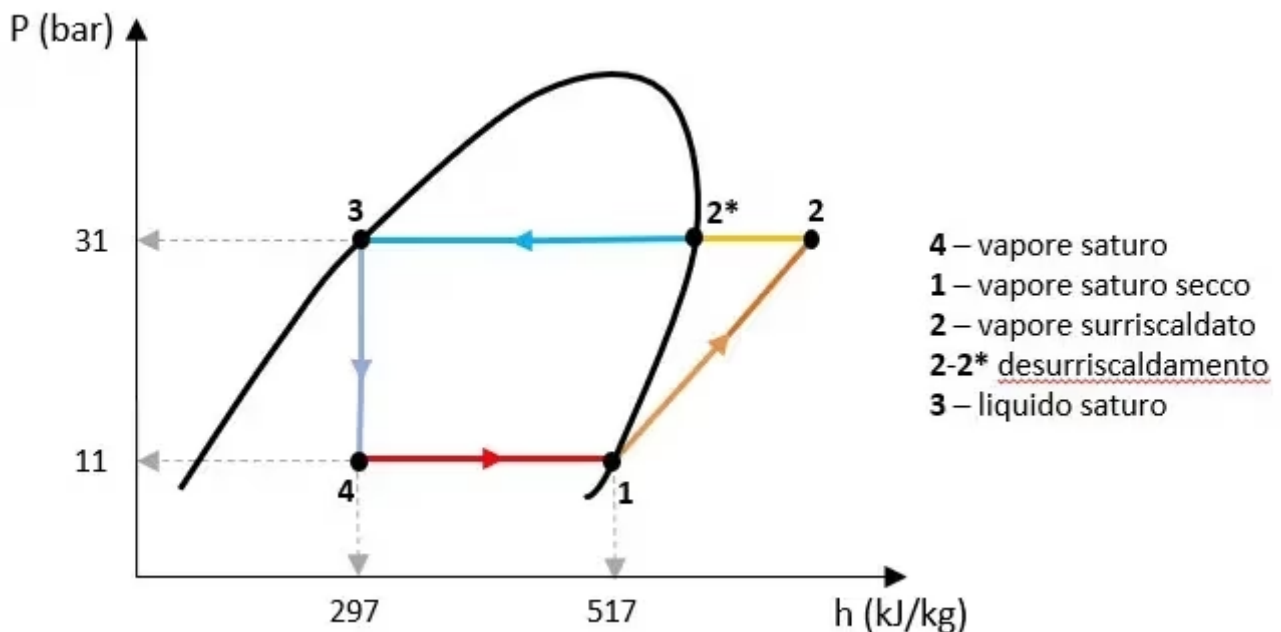
Nello step successivo, al condensatore prima si desurriscalda e poi condensa in quanto il calore accumulato deve essere ceduto; condensando passa nella fase di liquido saturo (3).

Infine, attraversa la valvola di laminazione e si espande, la pressione diminuisce e torna nelle condizioni di vapore saturo (4) affinché possa ricominciare il ciclo.

Essendo il ciclo invertibile, nel caso di funzionamento da macchina frigorifera l'effetto utile si ha all'evaporatore (elemento interno) in quanto il fluido refrigerante sottrae calore all'aria del locale o all'acqua di mandata ai corpi scaldanti e lo smaltisce al condensatore (elemento esterno); nel caso di pompa di calore si ha l'effetto utile al condensatore (elemento interno) in quanto il calore sottratto all'evaporatore (elemento esterno) viene ceduto al locale o all'acqua attraverso il condensatore.

Solitamente, come fluido refrigerante si utilizza l'R32 che alla pressione atmosferica evapora alla temperatura di circa  $-52^{\circ}\text{C}$ ; tuttavia, essendo una temperatura troppo bassa per la climatizzazione estiva, all'interno del sistema il fluido lavorerà ad una pressione maggiore di quella atmosferica cosicché la temperatura di ebollizione si riduca.

Si riporta il grafico pressione P-entalpia h dell'R32:



Fissando la pressione a 11 bar, l'R32 evapora alla temperatura di circa  $10^{\circ}\text{C}$ , portando poi la pressione a 31 bar condensa alla temperatura di circa  $50^{\circ}\text{C}$ .

Le macchine frigorifere/pompe di calore possono essere di vario tipo a seconda delle sorgenti cui attingono e cedono il calore (aria, acqua, terreno):



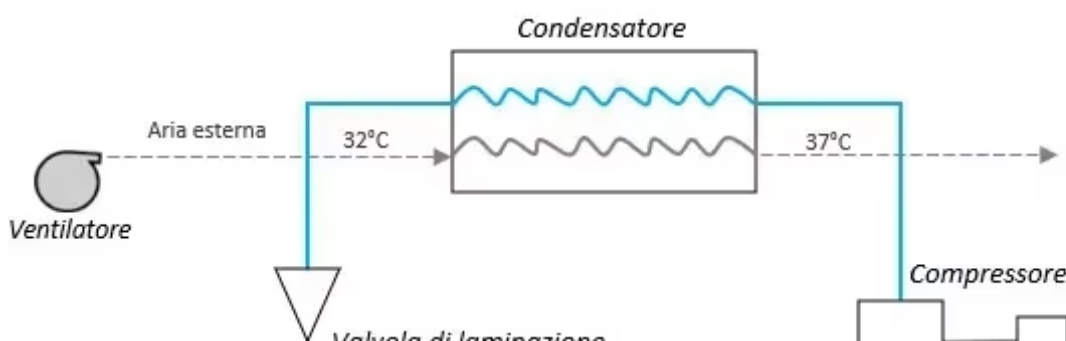
- **Macchina frigorifera/pompa di calore aria – aria:** evaporazione ad aria e condensazione ad aria;
- **Macchina frigorifera/pompa di calore acqua-aria/aria-acqua:** macchina frigorifera con evaporazione ad acqua e condensazione ad aria, ovvero pompa di calore con condensazione ad acqua ed evaporazione ad aria;
- **Macchina frigorifera/pompa di calore acqua-acqua:** evaporazione ad acqua e condensazione ad acqua;
- **Macchina frigorifera/pompa di calore geotermica:** macchina frigorifera con evaporazione ad acqua e condensazione al terreno, ovvero pompa di calore con evaporazione al terreno e condensazione ad acqua.

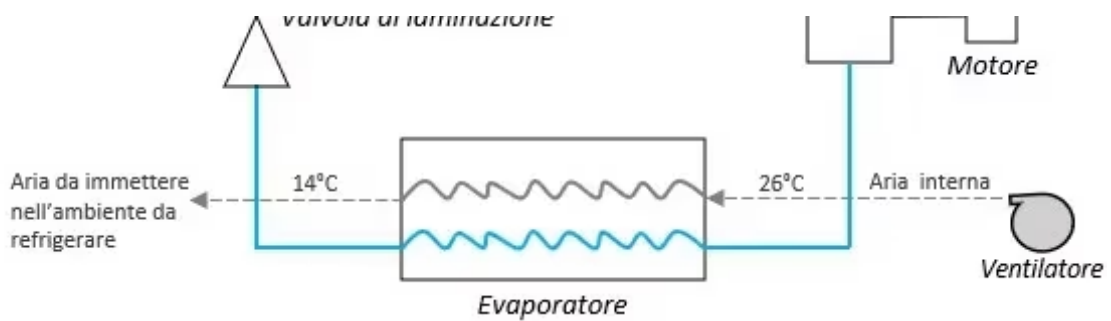
## Macchina frigorifera/pompa di calore aria – aria

La macchina frigorifera/pompa di calore aria-aria utilizza l'aria sia come sorgente fredda che come sorgente calda, nel senso che il fluido refrigerante evapora sottraendo calore all'aria all'evaporatore e successivamente questa energia termica viene rilasciata all'aria esterna quando condensa.

È il caso dei climatizzatori autonomi di tipo "monoblocco" e di tipo "split system" utilizzati nei piccoli impianti di riscaldamento e raffrescamento dei locali singoli.

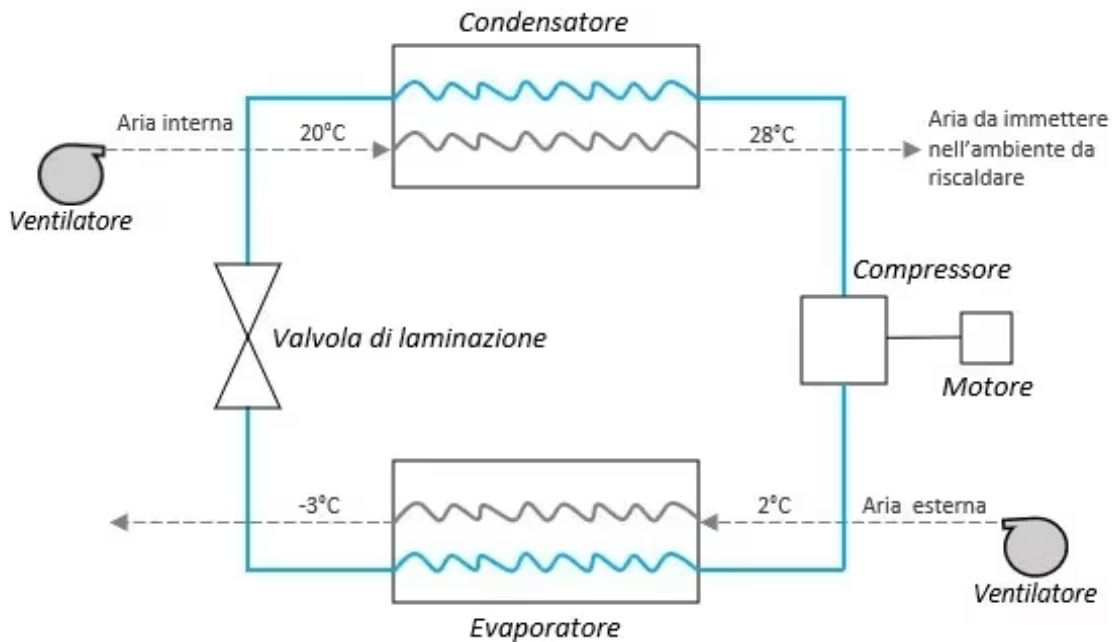
Nel funzionamento da macchina frigorifera l'evaporatore è interno, il condensatore esterno, il fluido refrigerante evapora sottraendo calore all'aria del locale (26°C), la quale, movimentata da un ventilatore viene spinta all'interno dell'evaporatore, cede calore, si raffredda (14°C) e viene immessa nel locale da raffrescare. Analogamente, al condensatore il fluido refrigerante condensa cedendo calore all'aria esterna che passa da 32°C a 37°C.





$$EER_{rev} = \frac{Q_B}{L_{rev}} = \frac{T_B}{T_A - T_B} = \frac{\text{TEMPERATURA AMBIENTE INTERNO}}{\text{TEMPERATURA ARIA ESTERNA} - \text{TEMPERATURA AMBIENTE INTERNO}}$$

Nel funzionamento da pompa di calore il ciclo si inverte, l'evaporatore è esterno, il condensatore interno, il fluido refrigerante evapora sottraendo calore all'aria esterna, la quale, movimentata da un ventilatore viene spinta all'interno dell'evaporatore, cede calore, si raffredda e passa da circa 2°C a -3°C. Successivamente il fluido refrigerante condensando cede il calore all'aria all'interno del locale che passa da circa 20°C a 28°C.



$$COP_{rev} = \frac{Q_A}{L_{rev}} = \frac{T_A}{T_A - T_B} = \frac{\text{TEMPERATURA ARIA ESTERNA}}{\text{TEMPERATURA ARIA ESTERNA} - \text{TEMPERATURA AMBIENTE INTERNO}}$$

Dalla formula del COP si evince che la macchina frigorifera va in sofferenza all'aumentare della temperatura dell'aria esterna, ossia nelle condizioni in cui vi è la maggiore necessità di raffreddare; analogamente vale per il funzionamento da pompa di calore in quanto la prestazione della macchina si riduce al diminuire della

temperatura esterna.

Nel caso di pompa di calore infatti, la scelta dell'aria esterna come sorgente fredda è quella frequentemente più adottata, presentando il vantaggio di essere gratuita e sempre facilmente disponibile; lo svantaggio dipende dalla variabilità della temperatura che determina a sua volta variazioni del *COP*. Al ridursi della temperatura dell'aria esterna, si ha una riduzione del *COP*, proprio in corrispondenza di una maggiore richiesta da parte dell'utenza. In inverno inoltre, usando l'aria esterna come sorgente fredda, potrebbe verificarsi il problema del brinamento: se la superficie dell'evaporatore si trova ad una temperatura inferiore a 0°C, il vapor d'acqua presente nell'aria solidifica, depositandosi sotto forma di brina sulla batteria di scambio, ostruendo così lo scambio termico. È necessario in tal caso installare una resistenza elettrica oppure effettuare lo sbrinamento della batteria attraverso l'inversione temporanea del senso di percorrenza del fluido frigorifero, in modo che l'evaporatore funga momentaneamente da condensatore.

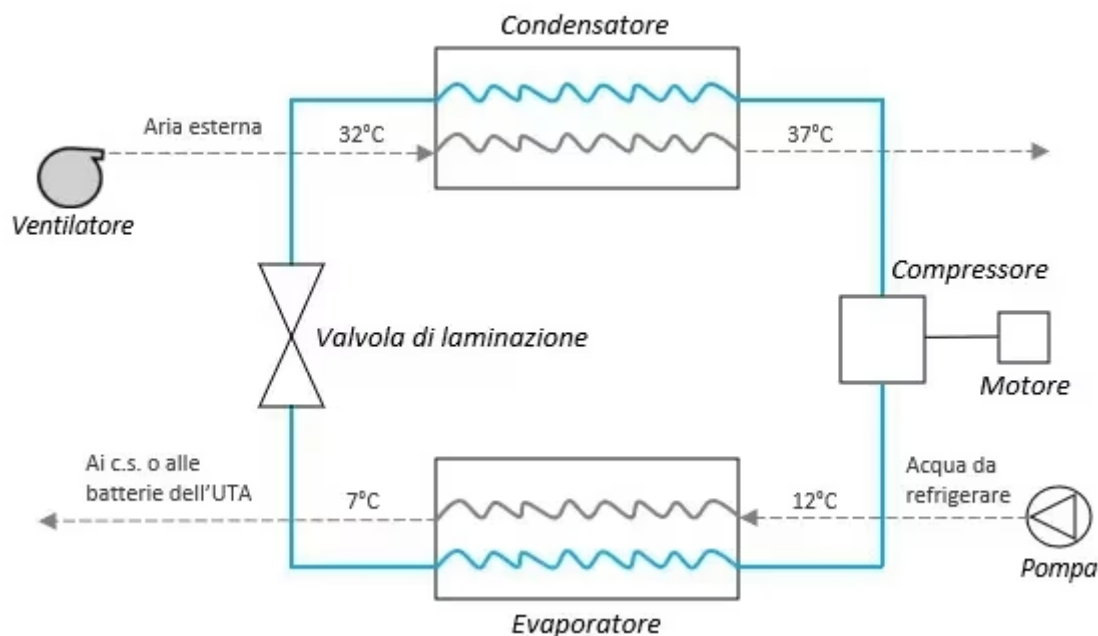
In alternativa, al fine di innalzare il rendimento della macchina, anziché utilizzare l'aria esterna, si potrebbe ricorrere ad aria già trattata, in uscita dai locali per esempio, come sorgente fredda in regime invernale e sorgente calda in regime estivo.

## **Macchina frigorifera acqua – aria, pompa di calore aria-acqua**

La macchina frigorifera/pompa di calore acqua-aria/ aria-acqua utilizza l'acqua di mandata ai corpi scaldanti (fan-coil) o alle batterie dell'unità di trattamento dell'aria come sorgente fredda in estate e calda in inverno; l'effetto utile quindi non si ha più sull'aria del locale come nel caso precedente, ma sull'acqua che indirettamente riscalda o raffresca il locale.

Nel funzionamento da macchina frigorifera si ha evaporazione ad acqua e condensazione ad aria, ovvero il fluido refrigerante evapora sottraendo calore all'acqua e condensa poi smaltendo il calore accumulato all'aria esterna. Questa tipologia di macchina frigorifera è definita chiller o refrigeratore d'acqua e viene usata di solito per impianti di climatizzazione centralizzati. In questo caso è presente una pompa che spinge l'acqua da refrigerare mediante tubazioni; il fluido refrigerante

all'evaporatore sottrae calore all'acqua che passa da 12°C a 7°C e viene mandata ai fan-coil o alle batterie dell'UTA. Successivamente al condensatore il fluido refrigerante condensa cedendo calore all'aria esterna, spinta all'interno dello scambiatore da un ventilatore, che si riscalda e passa da circa 32°C a 37°C.

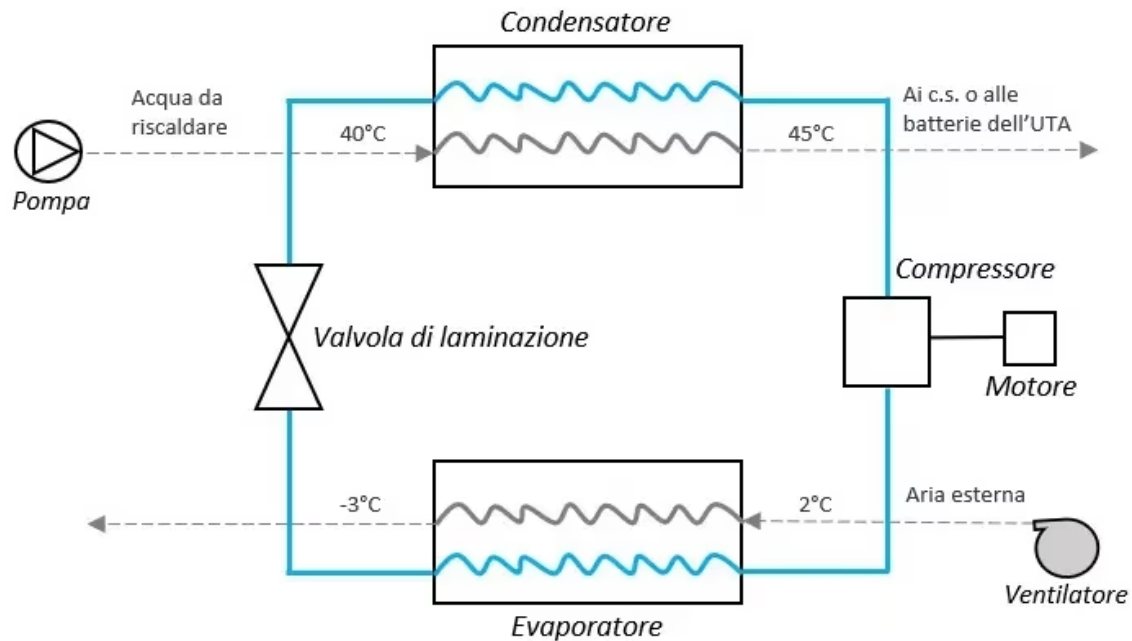


$$EER_{rev} = \frac{Q_B}{L_{rev}} = \frac{T_B}{T_A - T_B} = \frac{\text{TEMPERATURA ACQUA REFRIGERATA}}{\text{TEMPERATURA ARIA ESTERNA} - \text{TEMPERATURA ACQUA REFRIGERATA}}$$

L'impianto in esame generalmente garantisce sempre il funzionamento estivo da macchina frigorifera; talvolta funziona anche da pompa di calore in regime invernale.

In tal caso l'effetto utile è al condensatore in quanto l'acqua di mandata ai corpi scaldanti (fan-coil) o alle batterie dell'UTA deve essere riscaldata. La pompa preleva l'acqua di ritorno dai corpi scaldanti o dalle batterie dell'UTA, che attraversando il condensatore si riscalda passando da 40°C-45°C a 45°C-50°C per essere poi rimandata all'impianto. In regime invernale il livello termico raggiunto dall'acqua sconsiglia l'impiego di radiatori come corpi scaldanti, che necessiterebbero di acqua più calda (all'incirca 80°C).

Il doppio scambio termico inoltre comporta una temperatura di condensazione più elevata ed una conseguente diminuzione del rispetto al caso di pompa di calore con condensazione ad aria.



$$COP_{rev} = \frac{Q_A}{L_{rev}} = \frac{T_A}{T_A - T_B} = \frac{\text{TEMPERATURA ACQUA CALDA}}{\text{TEMPERATURA ACQUA CALDA} - \text{TEMPERATURA ARIA ESTERNA}}$$

Il *COP* si riduce all'aumentare della temperatura cui si intende portare l'acqua di mandata e di conseguenza aumenta il consumo energetico della macchina; in alcuni casi diminuisce anche la potenza della macchina che talvolta rischia di andare in blocco. Per città molto fredde si può usare anche un doppio generatore (caldaia + pompa di calore) in modo tale che la caldaia entri in funzione solo quando l'aria esterna è molto fredda, cioè quando la temperatura esterna scende al di sotto della soglia di temperatura dalla quale dipende l'efficienza della pompa di calore.

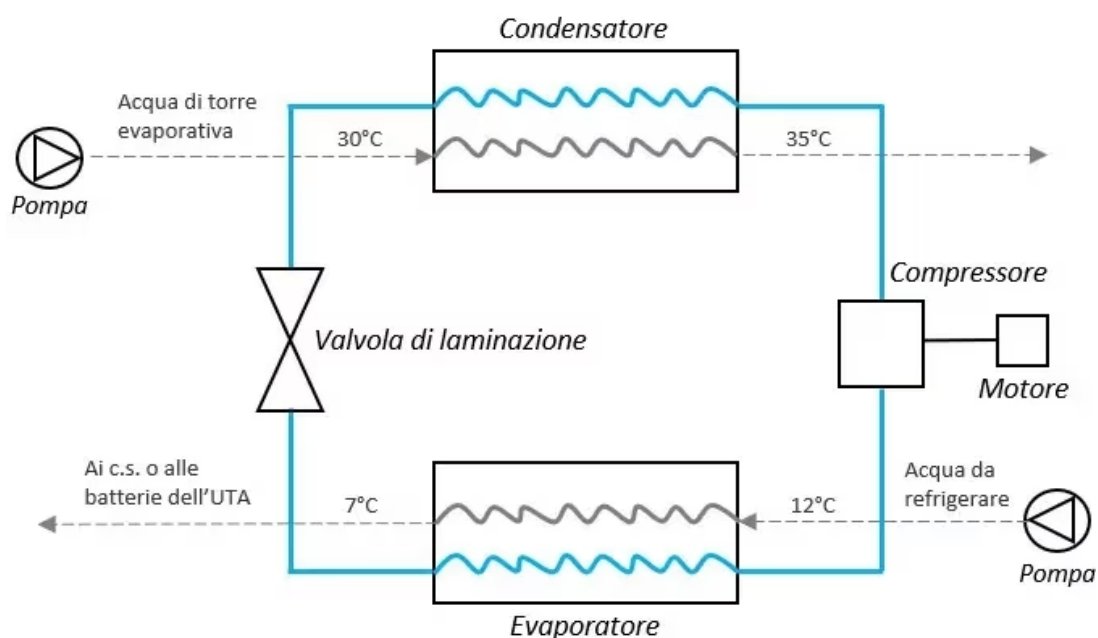
In entrambi i cicli di funzionamento il vantaggio consiste nel non far circolare direttamente negli ambienti il fluido frigorifero e/o nel consentire un trattamento più preciso dell'aria da immettere in ambiente.

## Macchina frigorifera/pompa di calore acqua – acqua

La macchina frigorifera/pompa di calore acqua-acqua utilizza l'acqua sia come sorgente fredda che come sorgente calda, in entrambe le circostanze lo scambio termico all'evaporatore e al condensatore avviene tra il fluido refrigerante e l'acqua. L'effetto utile riguarda l'acqua di mandata ai terminali presenti in ambiente o alle batterie dell'unità di trattamento aria, mentre l'effetto "necessario" riguarda acqua a "perdere" o di torre evaporativa. L'acqua a "perdere" non necessita di ricircolo e può

essere fornita dalla rete idrica, o proveniente da pozzi, fiumi, mare. Per la fornitura da rete idrica i costi sono molto elevati, mentre per l'acqua di pozzo, fiume o mare occorre prestare attenzione alla qualità per evitare problemi di corrosione; al fine di usufruirne inoltre bisognerà chiedere autorizzazioni agli enti competenti preposti. La torre evaporativa è un circuito chiuso a sé stante al quale il fluido refrigerante condensando smaltisce il calore che aveva sottratto all'evaporatore all'acqua di ritorno dai corpi scaldanti o dalle batterie dell'UTA. In questo caso l'acqua esce dalla torre a 30°C, attraversa il condensatore e si riscalda fino a 35°C, poi ritorna alla torre per essere nuovamente raffreddata a 30°C e ritornare al condensatore.

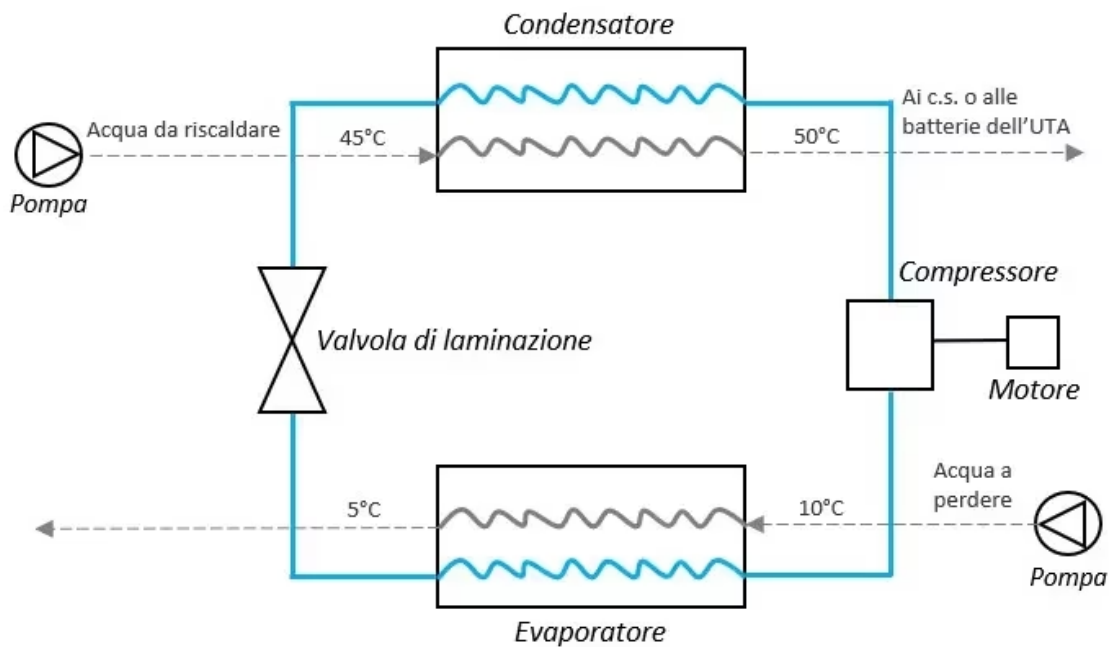
Nel caso di condensazione ad acqua di torre evaporativa il ciclo non è invertibile e funziona soltanto in regime estivo da macchina frigorifera. Questa tipologia è più costosa di quelle esaminate in precedenza perché ha un circuito in più dato dalla torre evaporativa e, funzionando soltanto in regime estivo, necessita di essere associata ad una caldaia o pompa di calore per il riscaldamento; di contro, la prestazione della macchina è maggiore dei casi precedenti.



$$EER_{rev} = \frac{Q_B}{L_{rev}} = \frac{T_B}{T_A - T_B} = \frac{\text{TEMPERATURA ACQUA REFRIGERATA}}{\text{TEMPERATURA ACQUA DI TORRE} - \text{TEMPERATURA ACQUA REFRIGERATA}}$$

Nel funzionamento da pompa di calore l'energia termica ceduta al condensatore all'acqua di mandata ai corpi scaldanti o alle batterie dell'UTA viene sottratta all'evaporatore esclusivamente da acqua a perdere

un evaporatore cedendovi calore da acqua a perdere.



$$COP_{rev} = \frac{Q_A}{L_{rev}} = \frac{T_A}{T_A - T_B} = \frac{\text{TEMPERATURA ACQUA CALDA}}{\text{TEMPERATURA ACQUA CALDA} - \text{TEMPERATURA ACQUA A PERDERE}}$$

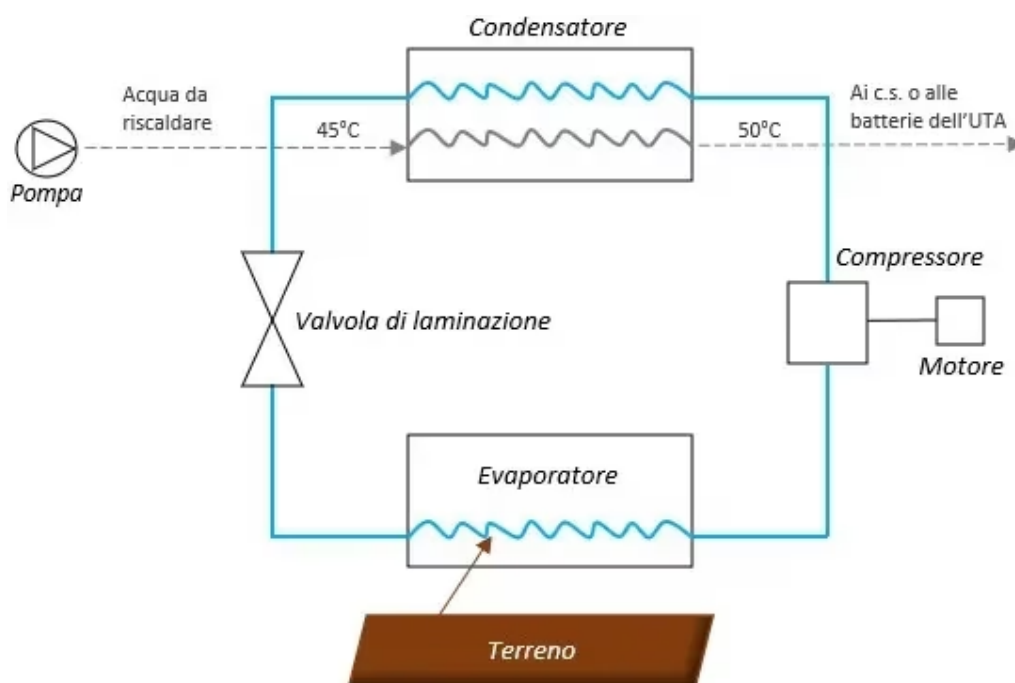
Nonostante il *COP* sia più elevato rispetto ai sistemi esaminati, questo dispositivo è più costoso e complesso, utilizzato soltanto per grandi impianti e solo quando le condizioni ambientali lo permettono.

## Macchina frigorifera/pompa di calore geotermica

La macchina frigorifera/pompa di calore geotermica sfrutta il terreno come sorgente calda in estate e fredda in inverno. Particolarmente utilizzata e prestante in regime invernale in quanto sottrae calore al terreno all'evaporatore che sarà poi ceduto al condensatore all'acqua di mandata ai corpi scaldanti o alle batterie dell'UTA. In questo caso il *COP* è elevato essendo la temperatura del terreno (circa 10°C) maggiore e meno variabile rispetto a quella dell'aria esterna. La temperatura del terreno infatti si stabilizza ad una certa profondità ad un valore molto prossimo alla media annuale della temperatura dell'aria. In più, oltre i 30 m di profondità si genera l'energia termica endogena con conseguente aumento progressivo di 1°C della temperatura. Il terreno rappresenta quindi un'ottima alternativa all'aria esterna, inoltre non c'è il rischio si formi brina sulla superficie dell'evaporatore.

Il calore viene sottratto al terreno attraverso sistemi di sonde realizzate in rame o

materiale plastico, onde evitare problemi di corrosione, e poste fino ad una certa profondità, con estensione orizzontale o verticale. I sistemi a tubi orizzontali sono interrati a piccole profondità (0,8 – 1,5m), richiedono molto spazio sgombro da edifici in quanto si sviluppano in estensione, sono ideali per terreni umidi e sabbiosi e le singole sonde devono essere poste ad una certa distanza tra loro (50-80cm) e dalle fondazioni o tubazioni idriche (1m). I sistemi a tubi verticali invece sono installati attraverso perforazioni a notevole profondità, tale che il terreno non risenta più degli effetti superficiali, presentano pertanto un ingombro ridotto rispetto a quelli orizzontali e sono ideali per terreni asciutti e rocciosi.



$$COP_{rev} = \frac{Q_A}{L_{rev}} = \frac{T_A}{T_A - T_B} = \frac{\text{TEMPERATURA ACQUA CALDA}}{\text{TEMPERATURA ACQUA CALDA} - \text{TEMPERATURA TERRENO}}$$

Nonostante la prestazione energetica sia ottimale, il sistema è costoso e ingombrante, conveniente quindi per climi molto rigidi.

La scelta di optare per questo dispositivo è finalizzata prevalentemente al funzionamento da pompa di calore, tuttavia può funzionare anche da macchina frigorifera: in regime estivo il fluido refrigerante sottrae calore all'acqua che deve essere mandata ai corpi scaldanti o alle batterie dell'UTA e al condensatore lo smaltisce al terreno. In tal modo potrebbe esserci una riserva aggiuntiva di calore per l'inverno quando il terreno raffreddandosi rischia di gelare. Inoltre, nel caso in cui la macchina venisse usata soltanto da pompa di calore a lungo andare la



ra macchina venisse usata soltanto da pompa di calore, a lungo andare, le caratteristiche, la temperatura del terreno potrebbero mutare.

## **Confronto tra macchine frigorifere/pompe di calore a compressione di vapore elettriche (EHP) e a gas (GHP)**

Le macchine frigorifere/pompe di calore a compressione di vapore a gas GHP (Gas Heat Pump) differiscono da quelle elettriche EHP (Electric Heat Pump) per il fatto che il compressore non è mosso elettricamente, ma da un motore a combustione interna alimentato da gas naturale. Il principio di funzionamento resta invariato, ma le macchine frigorifere/pompe di calore a gas presentano un'ulteriore caratteristica, ovvero quella di poter recuperare e sfruttare l'energia termica derivante dal raffreddamento del motore a combustione interna.

Questo calore recuperato può essere utilizzato ai fini dell'acqua calda sanitaria, oppure, in regime invernale, sfruttato:

- in *maniera diretta* – sommandolo a quello che il fluido termovettore rilascia condensando e quindi sarà inviato direttamente all'utenza ai fini del riscaldamento (doppio effetto utile);
- in *maniera indiretta* – per esempio per riscaldare l'aria esterna (sorgente fredda) da cui poi il fluido refrigerante sottrarrà calore all'evaporatore. In questo caso aumenta la prestazione della macchina in quanto sottrae calore ad aria avente temperatura più elevata di quella esterna.

Vantaggi:

- c'è una fonte di calore ulteriore rispetto al caso in cui il compressore è alimentato elettricamente;
- la prestazione della pompa di calore è elevata in climi rigidi;
- non sussiste il problema del brinamento all'evaporatore (in regime invernale).

Svantaggi:

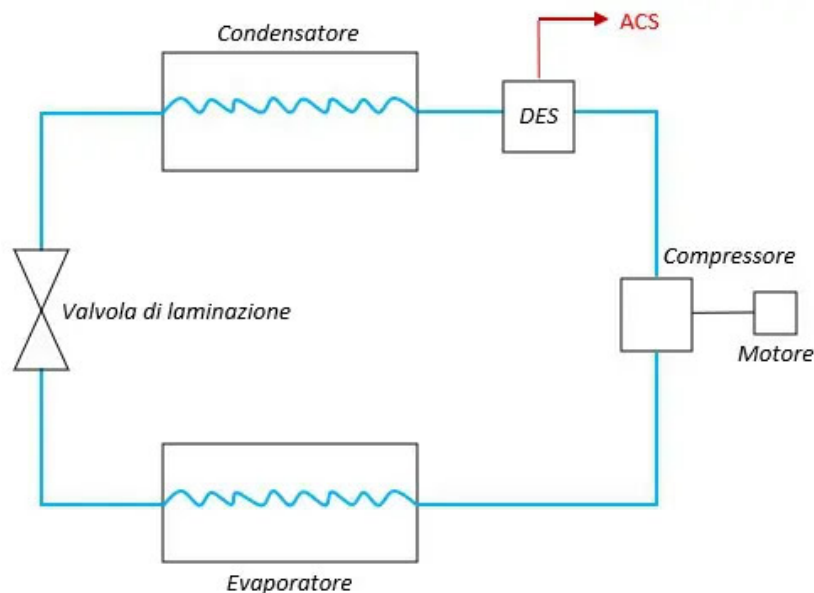
- rumorose, pesanti ed ingombranti;

- costose e rare sul mercato;
- inquinanti, elevato impatto ambientale a causa dei gas di scarico;
- il calore recuperato dal raffreddamento del motore a combustione interna potrebbe essere superfluo nel caso in cui non ci sia la necessità di utilizzarlo.

### **Gruppi frigoriferi a recupero (parziale o totale)**

I gruppi frigoriferi a recupero sfruttano, ai fini per esempio dell'acqua calda sanitaria, l'energia termica che in regime estivo al condensatore viene solitamente persa, smaltita all'aria esterna.

Si parla di recupero parziale quando viene recuperata l'energia termica dovuta al desurriscaldamento del fluido refrigerante, prima che condensi. In questo caso tra il compressore e il condensatore vi è un ulteriore scambiatore (desurriscaldatore) che trasferisce poi il calore recuperato al circuito di acqua calda sanitaria.

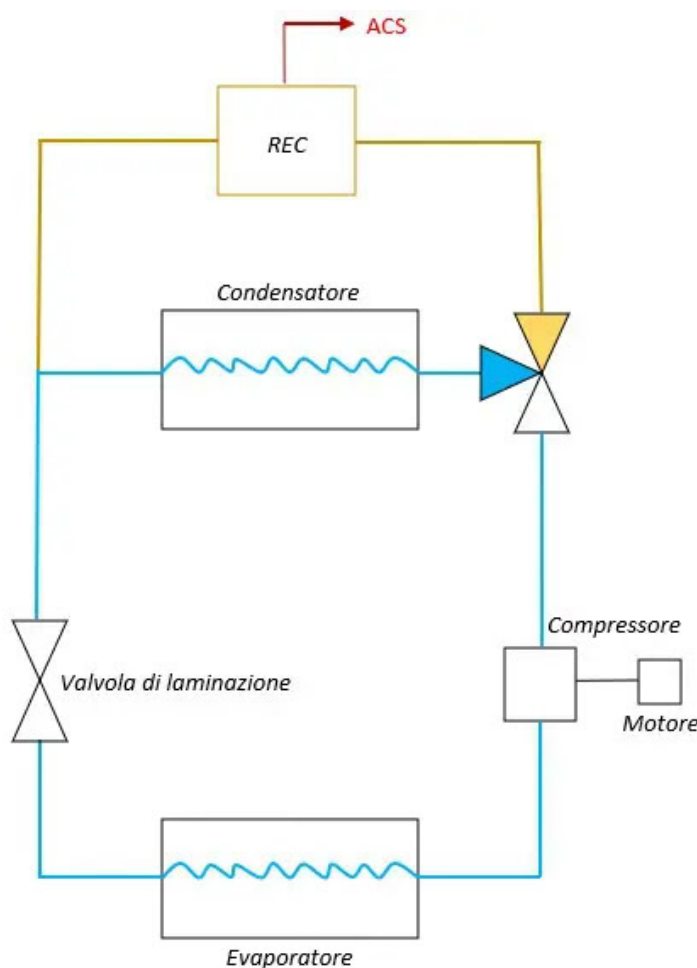


Il gruppo frigorifero a recupero totale, nel senso proprio del termine, recupera completamente il calore rilasciato dal fluido refrigerante durante il desurriscaldamento e la conseguente condensazione. Ciò è possibile attraverso un sistema di regolazione automatica con valvola a 3 vie, con la seconda via verso il condensatore e la terza diretta al recuperatore.

Nel caso in cui non sia necessario recuperare il calore, si chiude la terza via e il fluido refrigerante segue il percorso tradizionale: si desurriscalda e condensa in

refrigerante segue il percorso tradizionale, si desurriscalda e condensa in corrispondenza del condensatore smaltendo il calore all'aria esterna.

Se invece è opportuno recuperare il calore generato dal desurriscaldamento e dalla condensazione ai fini dell'acqua calda sanitaria, si chiude la seconda via, il fluido refrigerante viene mandato direttamente al recuperatore dove si desurriscalda e condensa e la conseguente energia termica viene poi inviata al circuito di acqua calda sanitaria.



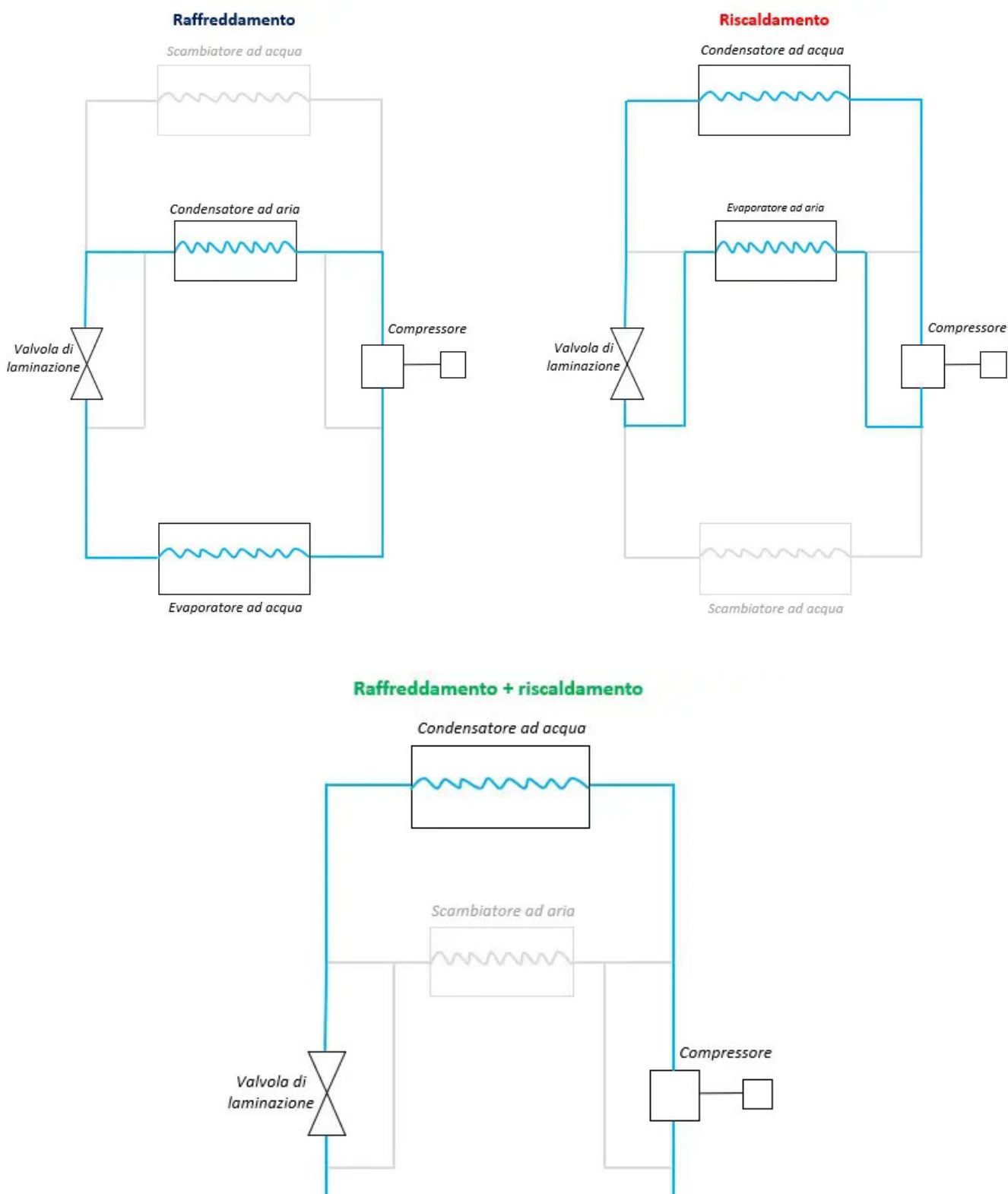
Tuttavia, queste tipologie, seppur utili, sono poco usate perché molto costose.

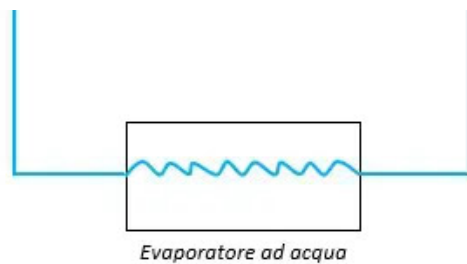
### **Sistemi polivalenti**

I sistemi polivalenti hanno la caratteristica di riuscire a produrre in contemporanea, all'occorrenza, acqua calda ed acqua refrigerata. In questo caso vi è un doppio effetto utile e l'efficienza energetica della macchina aumenta notevolmente.

Sono costituiti da tre scambiatori: quello centrale funziona ad aria, mentre i due alla

sono costituiti da tre scambiatori, quello centrale funziona ad aria, mentre l' due estremità ad acqua. Di base sono macchine frigorifere acqua-aria e pompe di calore aria-acqua, ossia sottraggono calore all'acqua e lo smaltiscono all'aria esterna in estate; sottraggono calore all'aria esterna e lo cedono all'acqua in inverno. Quando subentra poi la funzione polivalente viene spento lo scambiatore centrale, ad aria, che funge da condensatore in estate ed evaporatore in inverno, e restano attivi i due scambiatori ad acqua, cosicché venga prodotta in contemporanea acqua calda e fredda.





Sono dispositivi piuttosto costosi e raffinati, utili per esempio per un centro commerciale nelle stagioni intermedie o per un albergo con spa con elevata produzione di acqua calda sanitaria nella stagione estiva.

### ***Macchine frigorifere/pompe di calore ad assorbimento***

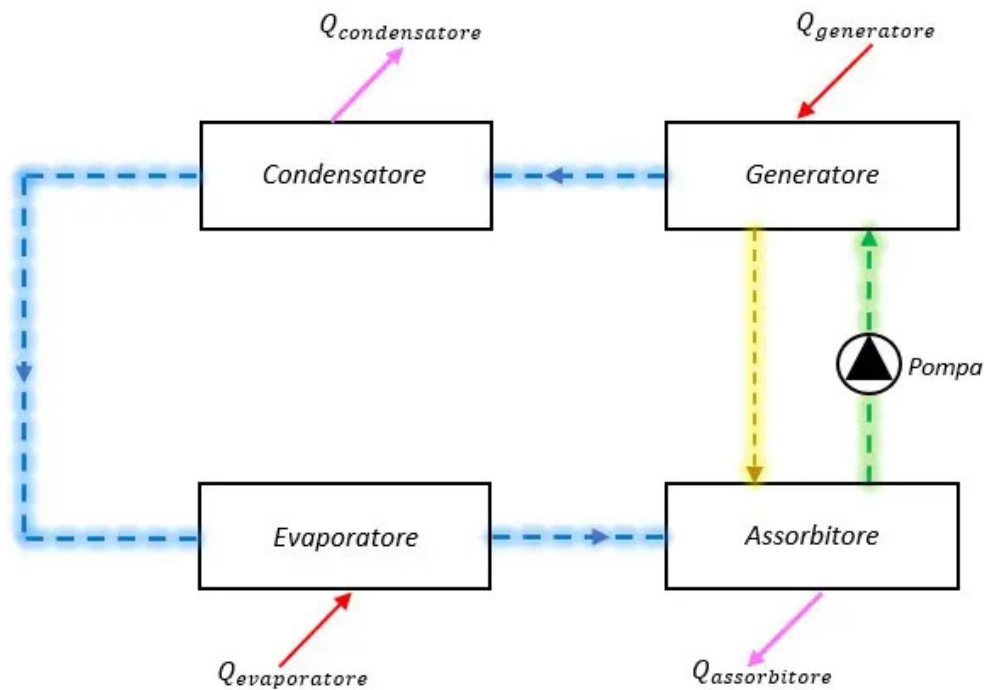
Le macchine frigorifere/pompe di calore ad assorbimento AHP (*Absorption Heat Pump*) si differenziano da quelle a compressione di vapore in primo luogo per i componenti, non è presente il compressore, ma un assorbitore e un generatore. Il funzionamento inoltre è basato sull'uso di una miscela di refrigerante (soluto, sostanza più volatile) e solvente.

Anche in questo caso si parte dall'evaporatore, il refrigerante evapora sottraendo calore e viene poi assorbito dalla soluzione concentrata di solvente (soluzione ricca di solvente e povera di soluto) all'assorbitore. La reazione di assorbimento del solvente è esotermica, ossia genera calore, pertanto sarà necessario raffreddare l'assorbitore affinché la macchina funzioni correttamente. Successivamente, la soluzione in fase liquida di soluto più solvente viene mandata al generatore, attraverso una pompa azionata da una piccola quantità di energia meccanica, dove sarà poi riscaldata. L'energia termica può essere fornita al generatore a fiamma mediante un bruciatore (a fiamma diretta) o tramite un fluido termovettore (alimentazione indiretta). Dunque, la miscela al generatore riscaldandosi si scinde: il refrigerante, essendo più volatile, evapora e segue il normale ciclo frigorifero, giunge al condensatore, condensa e rilascia calore; il solvente torna all'assorbitore cosicché possa ricominciare il ciclo. All'assorbitore infatti si ha una miscela povera di soluto e ricca di solvente che assorbirà poi il refrigerante proveniente dall'evaporatore.

Nel funzionamento invernale da pompa di calore, il fluido di lavoro all'evaporatore sarà riscaldato mediante energia termica sottratta all'ambiente esterno e l'effetto

utile si avrà al condensatore in quanto sarà ceduto calore all'utenza. Inoltre può essere possibile sfruttare anche il calore rilasciato all'assorbitore.

Nel funzionamento da macchina frigorifera l'effetto utile si ha all'evaporatore, il fluido refrigerante evapora sottraendo calore all'utenza e smaltisce poi il calore all'aria esterna condensando.



### CASO ESTIVO (MACCHINA FRIGORIFERA)

$$EER = \frac{Q_{evaporatore}}{Q_{generatore}}$$

- $Q_{evaporatore}$  = effetto utile, calore che viene sottratto all'evaporatore
- $Q_{generatore}$  = potenza termica che serve per alimentare il generatore

### CASO INVERNALE (POMPA DI CALORE)

$$COP = \frac{Q_{condensatore} + Q_{assorbitore}}$$

–  $Q_{assorbitore}$  = aliquota di calore ceduta, ma che può essere sfruttata

Per migliorare la tecnologia del sistema si possono utilizzare due generatori, il primo generatore lavorerà a pressione e temperatura maggiori rispetto al secondo. In questo caso si parla di macchina bistadio, quando la miscela viene riscaldata, non tutto il refrigerante riesce ad evaporare nel generatore, quindi, con il primo generatore evaporerà una parte di refrigerante, con il secondo evaporerà invece la restante. In tal modo migliora la prestazione globale della macchina.

Le macchine frigorifere/pompe di calore ad assorbimento sono silenziose, affidabili, efficienti a carichi parziali (se dotate di modulazione) e particolarmente convenienti:

- Se i costi del gas sono contenuti o ci sono dei limiti sulla potenza elettrica da installare;
- In presenza di reflui termici, derivanti da scarti industriali, energia geotermica, da cui viene attinto gratuitamente il calore al generatore ( $Q_{generatore}$ ).

Al contrario:

- L'efficienza si riduce nel caso di sistema monostadio, costituito da un solo generatore;
- Nel caso di raffreddamento all'assorbitore con acqua di torre, la portata di acqua del circuito della torre evaporativa è molto maggiore rispetto a quella necessaria per le macchine frigorifere a compressione di vapore con raffreddamento al condensatore con acqua di torre evaporativa;
- Necessitano di manutenzione specialistica;
- Comportano costi elevati;
- Se il generatore è alimentato a fiamma diretta aumentano l'impatto ambientale e le emissioni dei gas di scarico.

## Tipologie di miscela

La miscela maggiormente utilizzata sono:

Le miscele maggiormente utilizzate sono:

### **1) Acqua (refrigerante/soluto) + Bromuro di litio (solvente)**

Vantaggi:

- 
- 
- economica;
- esente da problemi di tossicità ed infiammabilità.

Svantaggi:

- 
- 
- non può essere usata a basse temperature in quanto l'acqua a 0°C solidifica;
- è necessario controllare correttamente la temperatura di esercizio all'assorbitore, in quanto, qualora salisse troppo, porterebbe alla cristallizzazione della miscela ed al blocco del flusso nella pompa;
- raffreddamento all'assorbitore con acqua proveniente da torre evaporativa;
- può essere usata principalmente come macchina frigorifera.

### **2) Ammoniaca (refrigerante/soluto) + Acqua (solvente)**

Vantaggi:

- 
- 
- non presenta problemi di cristallizzazione;
- idonea a basse temperature;
- possibilità di raffreddamento all'assorbitore ad aria.

Svantaggi:



- 
- 
- tossica, infiammabile e corrosiva (non può entrare in contatto con alcuni materiali, come ad es. il rame);
- quando la miscela al generatore viene riscaldata, oltre all'ammoniaca evapora anche parte dell'acqua generando così del vapor d'acqua che non potrà giungere al condensatore, ma dovrà essere eliminato.

Se devi progettare un impianto di climatizzazione, puoi farti supportare da un [software per la redazione automatica di Capitolati Speciali d'Appalto](#), Capitolato generale, schemi di contratto, relazioni tecniche e modulistica.