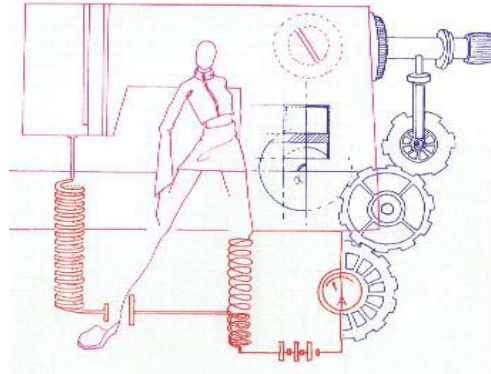


IPIA C.A. DALLA CHIESA – OMEGNA  
PROGETTO ALTERNANZA SCUOLA – LAVORO  
classi 4° e 5° TIEL – TIM a.s. 2011/2012

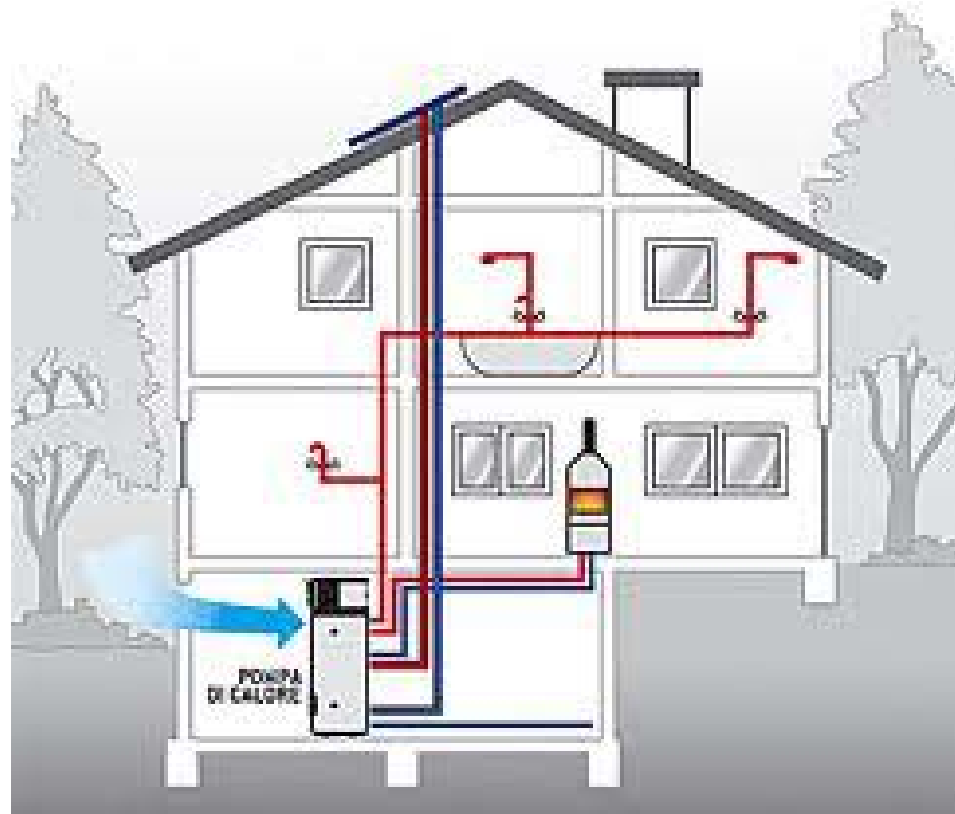


PRODUZIONE DI ENERGIA DA  
FONTI RINNOVABILI

RISPARMIO ENERGETICO

*prof. Massimo M. Bonini*

# POMPE DI CALORE



# Pompe di calore

- scambio di calore e relative leggi fisiche
- impianto frigorifero e pompe di calore
- impiantistica di settore e relativi componenti
- collegamenti con il fotovoltaico

# RICHIAMI DI TERMODINAMICA

## Calore

E' una delle forme in cui si può presentare l'energia che, ricordiamo “non si crea e non si distrugge, ma cambia semplicemente di forma”.

In quanto energia, il calore si può misurare in joule (J); tuttavia nelle applicazioni pratiche si preferisce utilizzare il wattora (Wh) o la kilocaloria (kcal).

Ricordiamo le equivalenze:

$$1 \text{ kcal} = 4184 \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 239 \cdot 10^{-6} \text{ kcal}$$

$$1 \text{ Wh} = 0,86 \text{ kcal} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 1,16 \text{ Wh}$$

# RICHIAMI DI TERMODINAMICA

## Temperatura

E' la proprietà che regola il trasferimento di energia termica (calore) da un sistema ad un altro.

Si misura attraverso le scale termometriche in gradi centigradi, o Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), in gradi Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ), in gradi Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) nei paesi anglosassoni.

Si ricorda che la scala Kelvin prende come riferimento lo zero assoluto (temperatura a cui viene raggiunta la quiete molecolare, cioè annullata l'agitazione termica) pari a  $-273,16^{\circ}\text{C}$ .

Per quanto riguarda la scala Fahrenheit si ricorda invece che valgono le seguenti equivalenze

$$0^{\circ}\text{C} = +32^{\circ}\text{F}$$

$$100^{\circ}\text{C} = +212^{\circ}\text{F}$$

# RICHIAMI DI TERMODINAMICA

## Pressione

E' la spinta esercitata da un fluido, in particolare da un gas, su ogni unità di superficie entro cui è costretto.

Si misura in bar, in pascal o in kilogrammi al centimetro quadrato (atmosfera)

Equivalenze

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1,01 \text{ kg/cm}^2 \text{ (atm)}$$

$$1 \text{ atm} = 0,98 \text{ bar}$$

Si ricorda che nelle normali condizioni ambientali, a livello del mare, i sistemi sono soggetti alla pressione dell'aria atmosferica, pari a  $1 \text{ kg/cm}^2$

# RICHIAMI DI TERMODINAMICA

## **Passaggi di stato**

La materia si può presentare in natura negli stati solido, liquido e gassoso (o aeriforme).

Somministrando calore un solido diventa liquido (fusione) e poi gassoso (evaporazione, ebollizione); togliendo calore avvengono i processi inversi (condensazione e solidificazione).

A pressione atmosferica esistono precisi valori di temperatura (tabellati) ai quali i passaggi avvengono. Nel passaggio dalla fase liquida a quella gassosa occorre distinguere tra ebollizione (che interessa l'intera massa liquida) ed evaporazione (che riguarda solo strato a contatto con l'aria e avviene a qualunque temperatura).

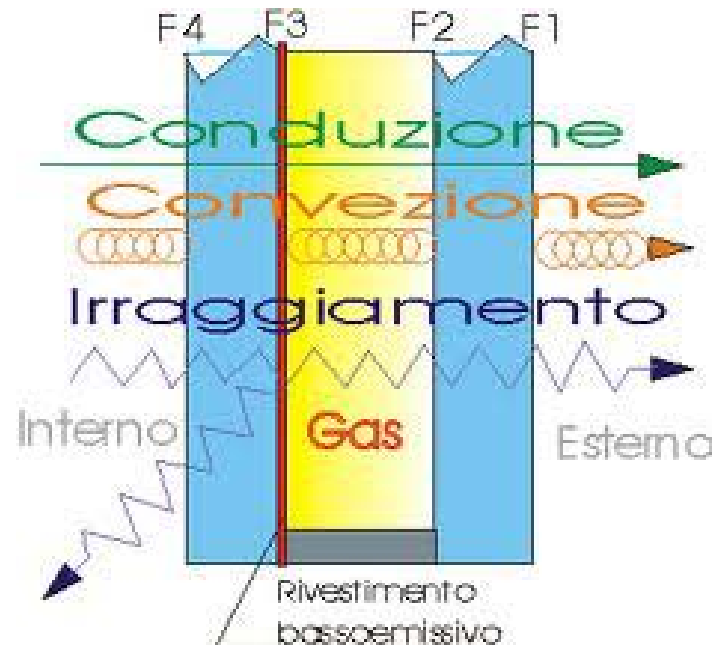
Durante i passaggi di stato la materia assorbe o perde calore (calore sensibile) rimanendo però a temperatura costante.

# RICHIAMI DI TERMODINAMICA

## Trasferimento del calore

Il calore può propagarsi all'interno di un materiale, o tra materiali diversi, seguendo il gradiente termico, cioè da punti più caldi a punti più freddi, per

- Conduzione, nei solidi
- Convezione, nei fluidi (liquidi o gas)
- Irraggiamento, in tutti i materiali e nel vuoto





# RICHIAMI DI TERMODINAMICA

## Legge universale dei gas

Per un gas chiuso in un recipiente a tenuta esiste una precisa relazione tra il suo volume ( $V$ ), la sua pressione ( $p$ ) e la sua temperatura ( $T$ )

$$p V = R T$$

dove  $R$  è la cosiddetta costante universale dei gas, per cui la legge si può meglio esprimere con

$$\frac{p V}{T} = \text{costante}$$

dalla sua applicazione deriva che comprimendo (aumento di pressione) un gas in un volume chiuso e costante, questo aumenta di temperatura assorbendo calore dall'ambiente circostante

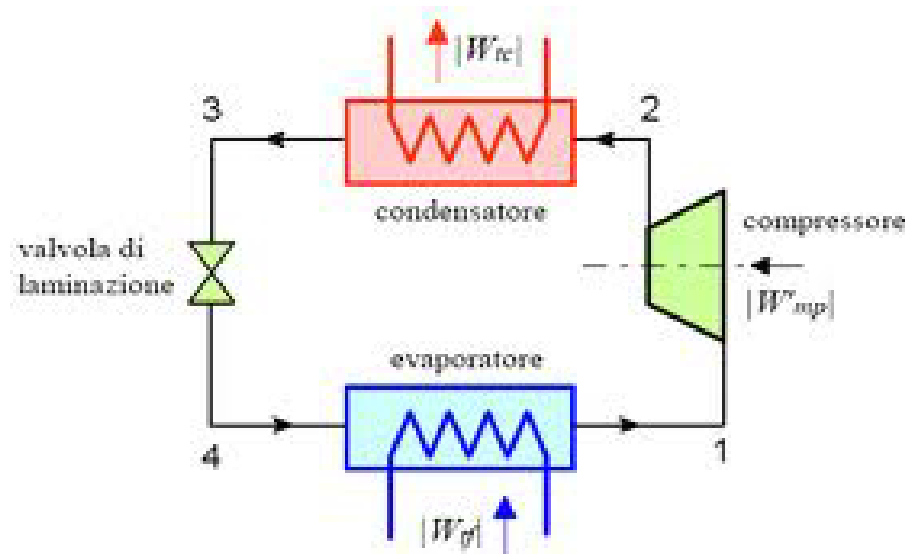
se invece si lascia decomprimere (diminuzione di pressione) il gas la sua temperatura diminuisce con cessione di calore all'ambiente circostante

# RICHIAMI DI TERMODINAMICA

## Legge universale dei gas - 2

Combinando opportunamente i due fenomeni risulta possibile trasferire calore da un ambiente a un altro anche contro il gradiente termico (passaggio di calore da un ambiente freddo a uno più caldo).

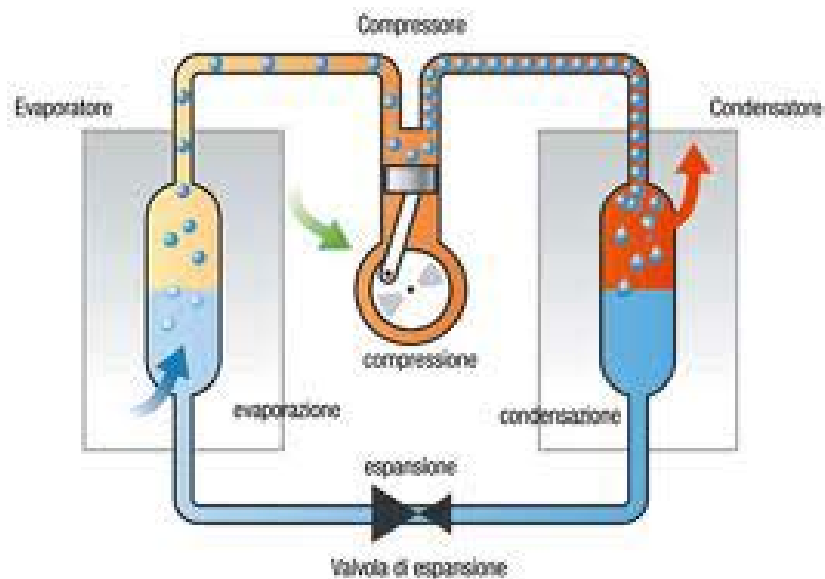
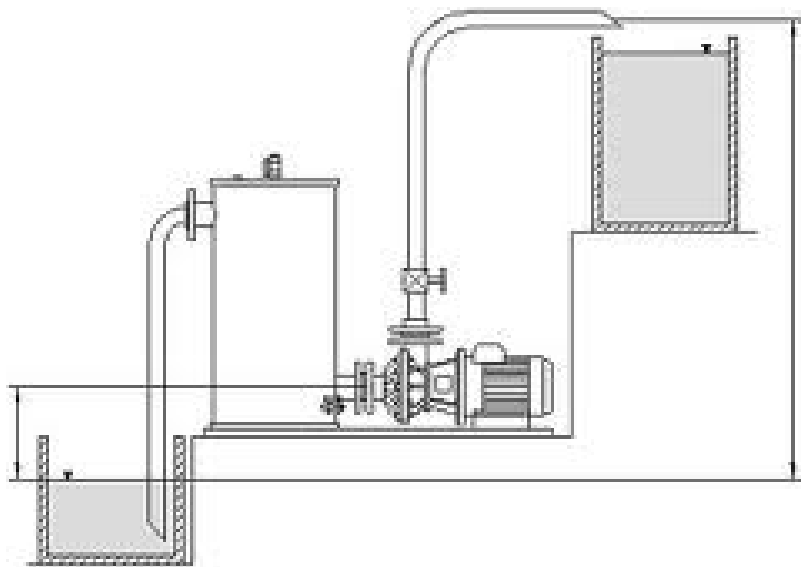
Si noti che la decompressione avviene per effetto naturale, mentre la compressione richiede apporto di energia meccanica dall'esterno del sistema.



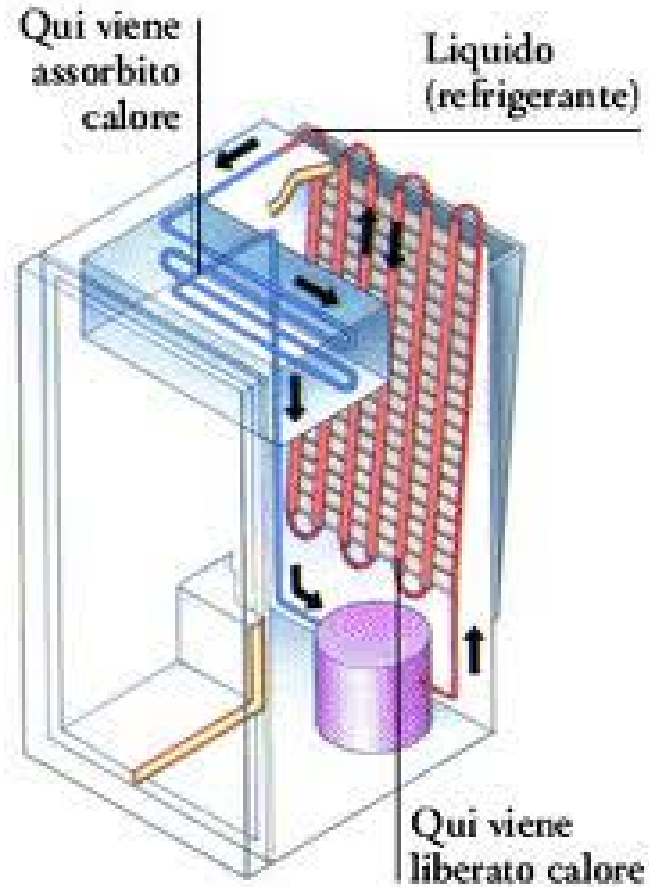
# LA POMPA DI CALORE

Pompa di calore è un dispositivo in grado di 'spingere' l'energia termica a 'muoversi' contro il gradiente di temperatura, cioè a passare da un ambiente freddo a uno più caldo.

Il nome deriva dall'analogia di funzionamento con le pompe idrauliche, che spingono i liquidi a passare da una quota geodetica ad un'altra posta a livello superiore.

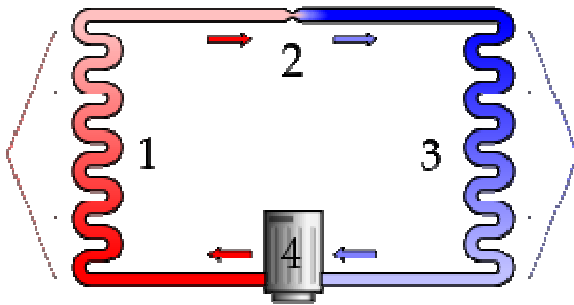


# CICLO FRIGORIGENO



Il ciclo di lavoro visto in precedenza, basato sul principio della pompa di calore, costituisce il principio di funzionamento dei sistemi refrigeranti utilizzati nei frigoriferi e congelatori (ad esempio quelli per la conservazione dei generi alimentari) e nei condizionatori per la climatizzazione degli ambienti.

# Pompa di calore: principio di funzionamento



- 1.condensatore,
- 2.valvola di espansione o di peto
- 3.evaporatore,
- 4.compressore.

Si immaginino 100 unità di energia termica all'interno di un pallone; questo viene compresso fino a raggiungere le dimensioni di una pallina da ping pong: questa pallina contiene le stesse unità di energia, ma l'energia termica per unità di volume è maggiore e la temperatura dell'aria all'interno della palla è aumentata. Le pareti della pallina si riscaldano e quindi il calore inizia a trasferirsi all'esterno. Per portare questo calore in un altro luogo, si può immaginare di muovere la pallina in una zona fredda, dove essa gradualmente aggiusterà la sua temperatura fino a uguagliare la temperatura dell'ambiente: in questo processo si ipotizza che essa trasferisca 50 unità di energia termica.

Dopo che la pallina si è raffreddata, la si può riportare nella zona iniziale e lasciarla espandere. Dato che ha perso calore, nel momento in cui torna alle dimensioni di un pallone la sua temperatura è troppo bassa e quindi inizia ad assorbire energia termica, raffreddando l'aria circostante.

Il compressore di una pompa di calore crea proprio la differenza di pressione che permette il ciclo (così come la palla che si espande e si contrae): esso aspira il fluido refrigerante attraverso l'evaporatore, dove il fluido stesso evapora, a bassa pressione, assorbendo calore, lo comprime e lo spinge all'interno del condensatore, dove il fluido condensa, ad alta pressione, rilasciando il calore assorbito. Il fluido refrigerante cambia di stato all'interno dei due scambiatori: passa nell'evaporatore da liquido a gassoso, nel condensatore da gassoso a liquido.

# COP (rendimento) di una pompa di calore

Quando si confrontano le prestazioni di pompe di calore, è meglio evitare il termine "rendimento", in quanto esso ha differenti significati, conviene parlare di resa. La resa è espressa dal **coefficiente di prestazione, COP**, rapporto tra energia resa (alla sorgente di interesse) ed energia consumata (di solito elettrica).

Un valore del COP pari a 3 indica che per ogni kWh di energia elettrica consumato, la pompa di calore fornisce calore pari a 3 kWh.

Quando usata per scaldare con un clima mite, una pompa di calore ha un COP che va da 3 a 4 (mediamente a 10 C raggiunge 3,3), invece a -8,3 C è circa 2,3.

Una classica stufetta elettrica ha un COP teorico pari a 1. In altre parole 1 joule di energia elettrica dato alla stufetta dà calore pari a 1 J, mentre, in condizioni ideali, dato ad una pompa di calore muove più di 1 J di energia termica da un luogo freddo a uno caldo. A volte questo concetto è espresso dai venditori di pompe di calore con la dichiarazione di un rendimento maggiore del 100%, ma questa espressione è scorretta, in quanto quell'energia non *produce* calore, ma lo *muove*.

# LIMITI D'IMPIEGO

Si fa notare che quando c'è una notevole differenza di temperatura, per esempio quando si vuole riscaldare una casa in una rigida giornata invernale, è necessario più lavoro per muovere il calore.

Se la pompa di calore è all'esterno e l'evaporatore non è riparato, è possibile che il COP scenda e sia inferiore a 1 e che l'umidità dell'aria tenda a ghiacciarsi sulle alette del dispositivo (con obbligo di periodico scongelamento).

In altre parole, quando fuori fa molto freddo, conviene produrre calore all'interno con una stufetta piuttosto che prenderlo dall'esterno.



# COP NEL CICLO FRIGORIGENO

In fase di raffreddamento la prestazione di una pompa di calore è descritta dall'EER (*energy efficiency ratio*) o dall'SEER (*seasonal energy efficiency ratio*), migliore prestazione per valori più elevati. Il costruttore dichiara quindi sia il COP, sia l'EER (o l'SEER). E' richiesto un minimo valore per il SEER, pari a 13; con l'uso di scambiatori e fluidi refrigeranti più efficienti, uniti a compressori a velocità variabile, si possono raggiungere valori pari a 17.

La pompa di calore è solitamente più efficiente nel riscaldamento che nel raffreddamento, dato che la macchina dissipa sempre una parte di energia in calore, che può essere usato per il riscaldamento.

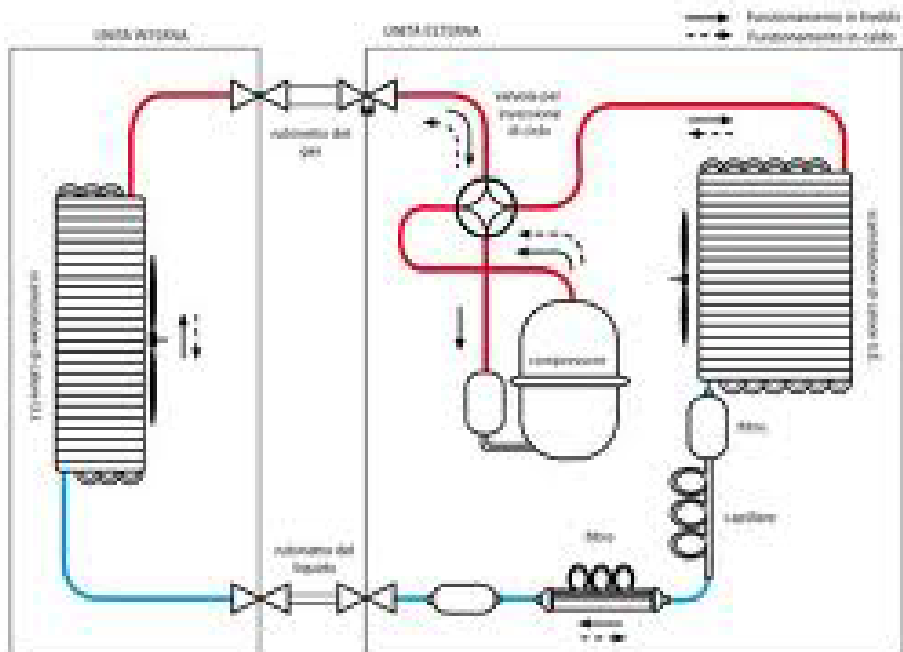
Questo è il motivo per cui la porta del frigorifero aperta in una giornata estiva fa scaldare la cucina: infatti il calore assorbito dallo scomparto freddo è riversato nel condensatore, aumentato dell'energia elettrica dissipata in calore. Un frigorifero aperto è essenzialmente un riscaldatore elettrico 'molto complicato'.

# POMPE DI CALORE ARIA - ARIA

Sono pompe di calore che estraggono calore dall'aria e lo riversano all'interno o all'esterno di un edificio, a seconda della stagione; sono quindi macchine reversibili, utilizzate sia per il riscaldamento invernale che per il condizionamento estivo.

Le pompe di calore ad aria possono essere:

- progettate per lavorare in unione con una fonte supplementare di riscaldamento, come una caldaia elettrica, a gas, a gasolio
- già dotate di resistenza elettrica in funzione di riscaldatore supplementare
- bivalenti, se sono dotate di un riscaldatore a propano per innalzare la temperatura dell'aria in ingresso dall'esterno.



# Fase di riscaldamento

Il calore è prelevato dall'aria esterna e portato all'interno dell'edificio.

Il fluido refrigerante attraversa la valvola di laminazione e diventa una miscela liquido-vapore a bassa pressione. Quindi entra nell'evaporatore, posto all'esterno, dove assorbe calore fino a diventare vapore a bassa temperatura.

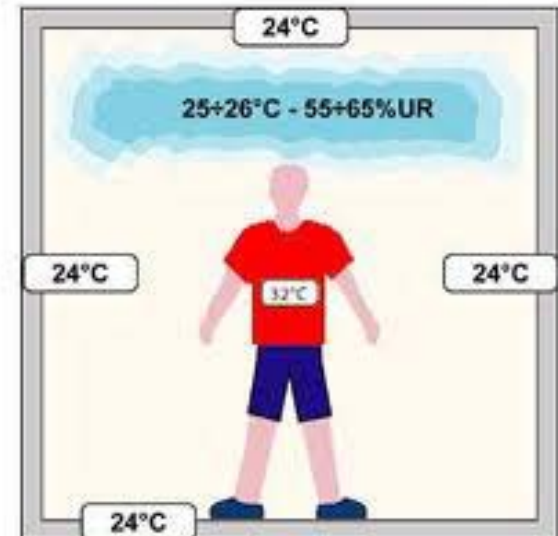
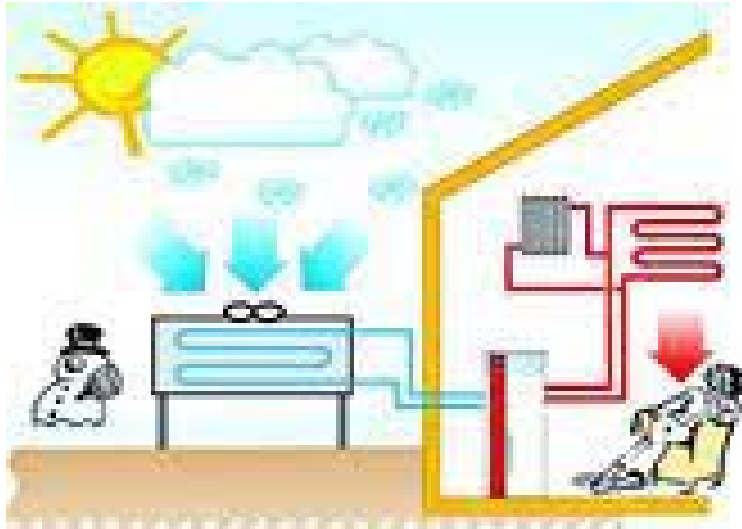
Il vapore attraversa l'accumulatore, dove è raccolto anche ogni rimanente liquido. Quindi viene compresso, con conseguente innalzamento della temperatura.

Il vapore caldo giunge nel condensatore, che è il radiatore posto all'interno dell'edificio (vicino all'eventuale caldaia), e cambia di fase rilasciando il calore di liquefazione. Il liquido ottenuto ritorna alla valvola di laminazione e il ciclo si ripete.

*Alla temperatura esterna di equilibrio* la capacità di riscaldamento della pompa pareggia le dispersioni termiche dell'edificio, mentre sotto ad essa è necessario l'apporto di una caldaia tradizionale. Si sottolinea che la pompa di calore produce aria in grandi quantità (50-60 l/s per kW) a temperature tra i 25 C e i 45°C, tendendo ad operare per periodi più lunghi rispetto a una normale caldaia, che rilascia aria tra i 55°C e i 60°C.

# Raffreddamento

D'estate si inverte il ciclo, in modo da cambiare direzione al flusso di calore: il liquido refrigerante evapora nel radiatore interno e condensa nel radiatore esterno. L'aria interna viene inoltre deumidificata.



# Sbrinamento

Quando il radiatore esterno opera come evaporatore, la sua superficie risulta a bassa temperatura se anche l'aria esterna è fredda (riscaldamento nella stagione invernale). Questo comporta la formazione di ghiaccio, dovuta alla presenza di umidità nell'aria esterna, e di conseguenza una riduzione del rendimento dello scambio termico (il ghiaccio è isolante). Per sciogliere lo strato di ghiaccio la valvola reversibile inverte il ciclo e la ventola dell'evaporatore esterno si ferma, in modo da ridurre l'energia termica necessaria per lo sbrinamento. Ovviamente, mentre la macchina è in questa fase, il radiatore interno raffredda l'aria dell'edificio e quindi vi è la necessità di riscaldarla prima di immetterla in circolo.

Vi sono due metodi per stabilire quando effettuare lo sbrinamento: con un sensore di temperatura esterno e un timer che inverte il ciclo ogni tot minuti o con un sistema di controllo più raffinato, che monitora il flusso d'aria, la pressione del refrigerante e la temperatura dell'aria.

Il secondo metodo, seppur più caro, è preferibile in quanto evita sbrinamenti non necessari e quindi migliora il rendimento della macchina.

# Dimensionamento delle pompe di calore

Anche se la pompa di calore può fornire tutto il calore necessario ad un edificio, il suo impiego non è conveniente quando i carichi per il riscaldamento sono molto maggiori di quelli per il raffreddamento poiché la pompa, dimensionata per la stagione invernale, d'estate opererebbe in modo intermittente, con minore rendimento e minore capacità di deumidificazione.

Un buon compromesso tra costi e prestazioni stagionali comporta che la pompa di calore fornisca non più del 125% del carico estivo e non più del 90% del carico invernale.

Così facendo, la temperatura di equilibrio (quella a cui la pompa fornisce tutto e solo il calore che l'edificio disperde) risulta compresa tra 0 °C e -5 °C.

# POMPE DI CALORE AD ASSORBIMENTO A GAS

GAHP è l'acronimo inglese di pompe di calore ad assorbimento a gas. Si tratta di una nuova tecnologia in fase di sviluppo per nuove pompe di calore domestiche.

L'obiettivo è una maggiore efficienza energetica introdotta tramite la tecnologia delle pompe di calore ad assorbimento a gas attraverso l'utilizzo delle stesse nella fascia di potenza tipica delle applicazioni domestiche (10 e 25 kWh) e di raggiungere un'efficienza globale sull'energia primaria calcolata tra 150 e 170%.





5% calore disperso



100% calore  
in entrata.

95% calore  
in uscita.

In una normale caldaia a gas questo viene bruciato e produce calore, ma solo una parte va a riscaldare l'ambiente, mentre il resto si disperde.

Nelle GAHP invece l'energia prodotta dalla combustione del gas viene utilizzata per pompare calore dall'esterno, raggiungendo così un COP pari a 1,5 – 1,7

input 55 unita'  
energia termica



output 155  
unita' energia  
termica



100 unita' di energia  
termica prodotta

La GAHP è ancora una tecnologia in fase di sviluppo.

Già utilizzata per grandi impianti, presenta ancora degli ostacoli da superare per approdare all'applicazione nell'edilizia abitativa. Ciò porterebbe notevolissimi vantaggi ai consumatori grazie a **risparmi energetici intorno al 50%**. Si tratterebbe di un notevole passo in avanti anche rispetto al massimo del risparmio nel settore rappresentato attualmente dalle caldaie a condensazione.

Le maggiori problematiche da superare per l'immissione sul mercato di tali pompe di calore è la messa a punto di prodotti a prezzi convenienti per utenti finali anche rispetto alle più innovative soluzioni per il riscaldamento con energia rinnovabile. Dal punto di vista tecnico, inoltre, numerosi sono gli elementi da perfezionare.

# COLLEGAMENTI CON IL FOTOVOLTAICO

Le pompe di calore, come si è visto, funzionano tramite un compressore azionato da un motore elettrico. Risulta quindi evidente che se l'energia elettrica necessaria viene prodotta in modo autonomo, attraverso fonti rinnovabili, il risparmio energetico conseguibile aumenta ulteriormente.

Occorre però tenere debito conto del fatto che i momenti di maggior richiesta di calore, quindi i periodi di funzionamento giornaliero più prolungati, corrispondono con quelle di minor resa degli impianti fotovoltaici e soprattutto con le ore notturne. E' bene quindi prevedere sempre un sistema tampone e un funzionamento in parallelo con la rete elettrica, onde evitare momenti di black out.