

*Prof. Angelo Serafino Caruso, Docente di Meccanica, Macchine ed Energia
Istituto Tecnico Industriale "E. Majorana" – Rossano (CS)*

*Le mie lezioni:
Le Macchine Operatrici (4/5[^])*

Ventilatori

Compressori Volumetrici

Compressori a Turbina o TurboCompressori, Centrifughi

Macchine Frigorifere e Pompa di Calore

Schema a blocchi delle Macchine Frigorifere: Le Fasi

Trasformazioni di un Ciclo Frigorifero, inverso a quello di Carnot

Pompa di Calore

Ventilatori

Lo studio dei ventilatori è lo stesso di quello eseguito per le pompe idrauliche (*Macchine a Fluido, n. 25*) con la differenza che il fluido operante non è l'acqua ma l'aria e, siccome, la variazione di densità della massa d'aria è trascurabile si può ragionare come per l'acqua.

I calcoli rimangono quelli visti per le pompe e,

in particolare, si confermano le formule della portata,

dell'equazione di continuità e di Bernoulli (*Idraulica, n. 9, 11 e 14*).

Quindi, in un condotto divergente, per l'equazione di continuità si ha

$$\text{che la portata volumetrica } Q_v = A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

e, per il principio di conservazione dell'energia nelle due sezioni,

si ha Bernoulli per i circuiti di ventilazione (aria, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$)

$$V_A^2 / 2g = V_B^2 / 2g + (p_B - p_A) / 9,81 \rho > V_B - V_A / 2g = (p_A - p_B) / 9,81 \rho$$

$$\text{e per } V_A = 0 \text{ si ha } V_B = \sqrt{2g(p_A - p_B) / 9,81 \rho} = 1,3 \sqrt{p_A - p_B}$$

Una minima variazione di pressione da una variazione di velocità non indifferente.

Le perdite di carico continue, per attriti contro le pareti del condotto, e quelle di carico accidentali, per urti, strozzamenti, curve nel condotto, sono proporzionali al quadrato della velocità.

La Potenza Utile è $P_u = Z_u (p_A - p_B) / 1000$

Il Rendimento Totale, (Rendimento Fluodinamico + Volumetrico + Meccanico)

$\eta_t = P_u / P_a$ di cui P_a è la potenza assorbita.

I ventilatori hanno le pale incurvate indietro sono centrifughi a marcia retrograda e quelli le cui pale sono incurvate in avanti sono detti a marcia indietro e generano velocità d'efflusso rilevanti con pressioni modeste, le palette sono sempre tangenti alla velocità relativa dell'aria.

I ventilatori elicoidali, con rendimento basso per i vortici creati al centro della girante per la rarefazione dell'aria, hanno le pale ad elica e sono usati in ambienti chiusi e per il raffreddamento dei radiatori.

Compressori Volumetrici

Essi basano il loro funzionamento sulla trasformazione dell'energia meccanica in entalpia (energia di pressione e di temperatura (Termodinamica, n.37).

Possono essere a stantuffo o a capsulismi (a palette, a lobi e a vite).

I **Compressori a Stantuffo** sono macchine operatrici che funzionano all'incontrario: La manovella è messa in rotazione e trasmette il moto alla biella (Biella-Manocella, n.2) il cui piede è calettato allo stantuffo con uno spinotto. Lo stantuffo trasla in un cilindro che con l'apertura e la chiusura di due valvole aspira aria a pressione atmosferica e la scarica a pressione più alta.

Anche il Ciclo di Rankine, visto per le Macchine a Vapore (Macchine Termiche, n.2), se s'inverte si ha che il fluido viene aspirato a pressione costante (isobara 1-4), compresso (adiabatica 4-3) e spinto all'esterno a pressione costante (isobara 3-2). L'isobara 2-1 è la caduta di pressione in virtù del fatto che il compressore, adesso, è completamente vuoto.

L'area del diagramma è il lavoro assorbito dal compressore.

Durante la corsa dal PMS al PM9 (da 1 a 4) si ha l'aspirazione che crea una depressione poi, quando lo stantuffo raggiunge il giusto valore della pressione, si apre la valvola di mandata (valvola di scarico per il cilindro) e il fluido viene spinto nella tubazione.

Esistono anche compressori a doppio effetto in cui le fasi compiono in due camere opposte.

Il ciclo teorico appena spiegato differisce da quello reale perché tra il cilindro e lo stantuffo, al PMS, rimane un volume di gas compresso che fa iniziare con ritardo l'espansione riducendo il rendimento volumetrico.

Lo spazio occupato dal gas compresso è detto spazio nocivo e il punto "1" del ciclo si realizza più a destra, riducendo l'area del diagramma e, quindi, il lavoro. Lo spazio nocivo o spazio morto è ineliminabile perché dipende dalle tolleranze di lavorazione, dal numero delle valvole e dalla loro disposizione.

Inoltre lo spazio nocivo, occupato dal gas compresso agisce anche da cuscinetto elastico ne impedisce l'afflusso alla pressione stabilita.

Il rapporto di compressione $R = \sqrt{p_n/p_0}$ (p iniziale assoluta/ p finale assoluta)

La testata dei compressori è alettata, come per i motori a due tempi, in quanto il gas nella compressione si riscalda a spese del lavoro di funzionamento.

Il Rendimento Volumetrico è $\eta_v = Q_{va}/Q_{vt}$, (portata effettiva/portata teorica) e quello totale $\eta_t = \eta_v \cdot \eta_i \cdot \eta_m$ (η_v volumetrico, η_i indicato e η_m meccanico)

Il Lavoro assorbito nel ciclo teorico è uguale alla differenza di entalpia:

$$L = h_1 - h_2,$$

In effetti, la compressione non è adiabatica, come già visto per i motori, ma è politropica per cui la formula si deve correggere inserendo i parametri relativi alla trasformazione politropica.

I compressori a stantuffo come i capsulismi lavorano tra alte pressioni e basse portate.

Compressori a Turbina o TurboCompressori, Centrifughi

Sono adatti per le grandi portate e basse pressioni.

I centrifughi, trascinati da turbine o da motori elettrici non sono diversi dalle pompe centrifughe (Macchine a Fluido, n. 26).

La girante imprime al fluido una forte velocità che perde nei condotti, a sezione crescente, del diffusore intorno alla girante.

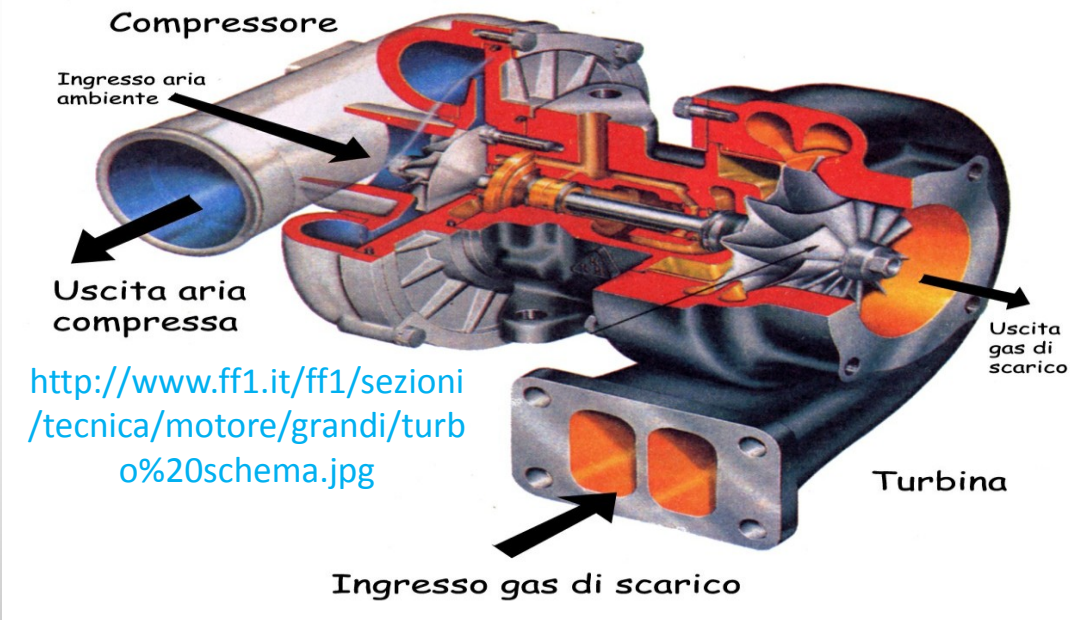
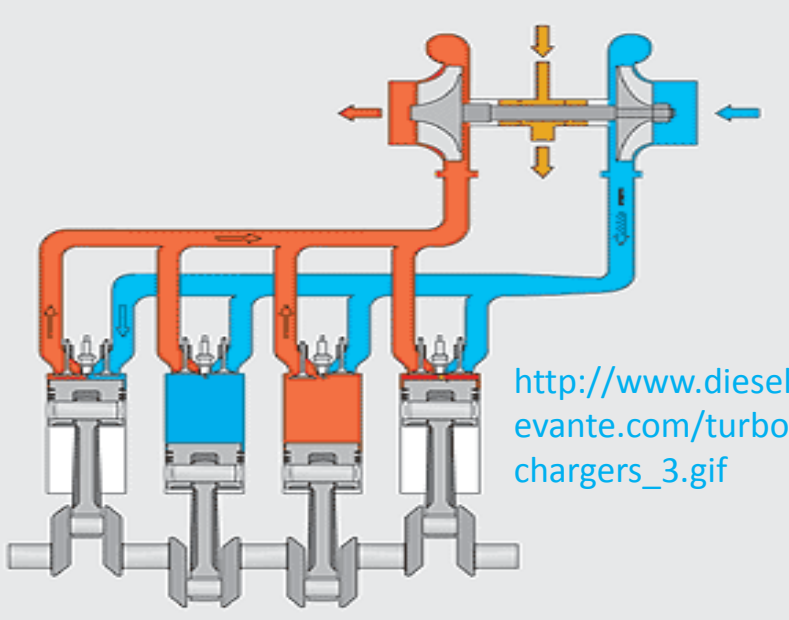
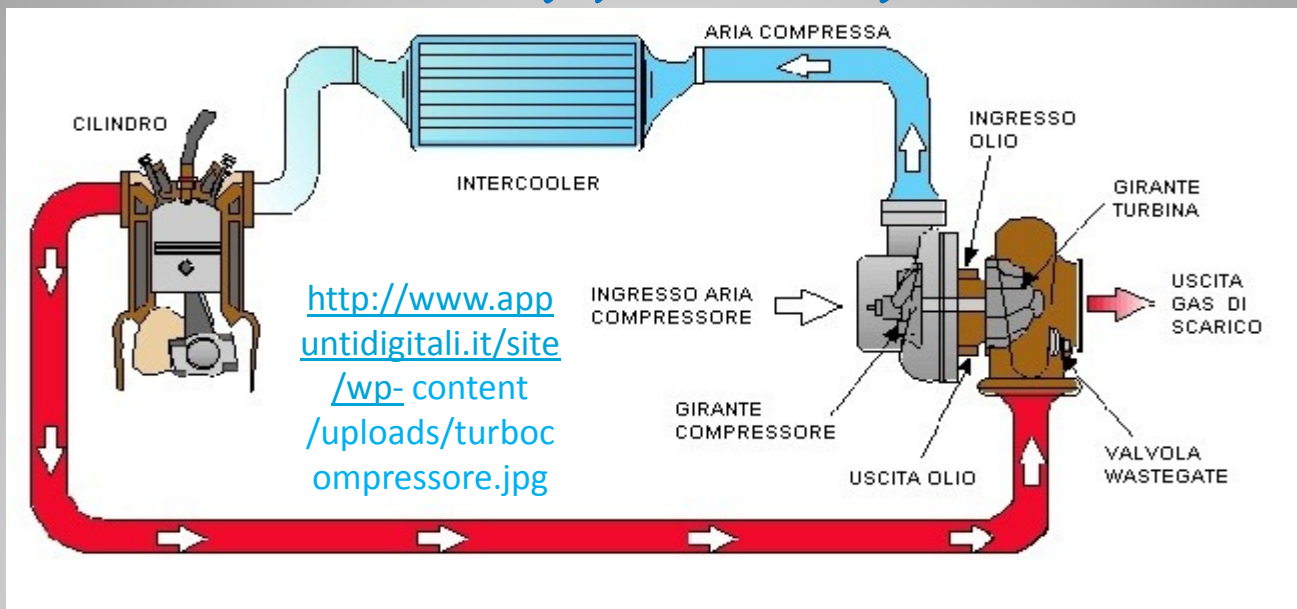
Per il principio di Bernulli, il fluido perdendo velocità acquista pressione.

La pressione di mandata è direttamente proporzionale al quadrato dei numeri di giri. Più la pompa è grande più alto è il rendimento.

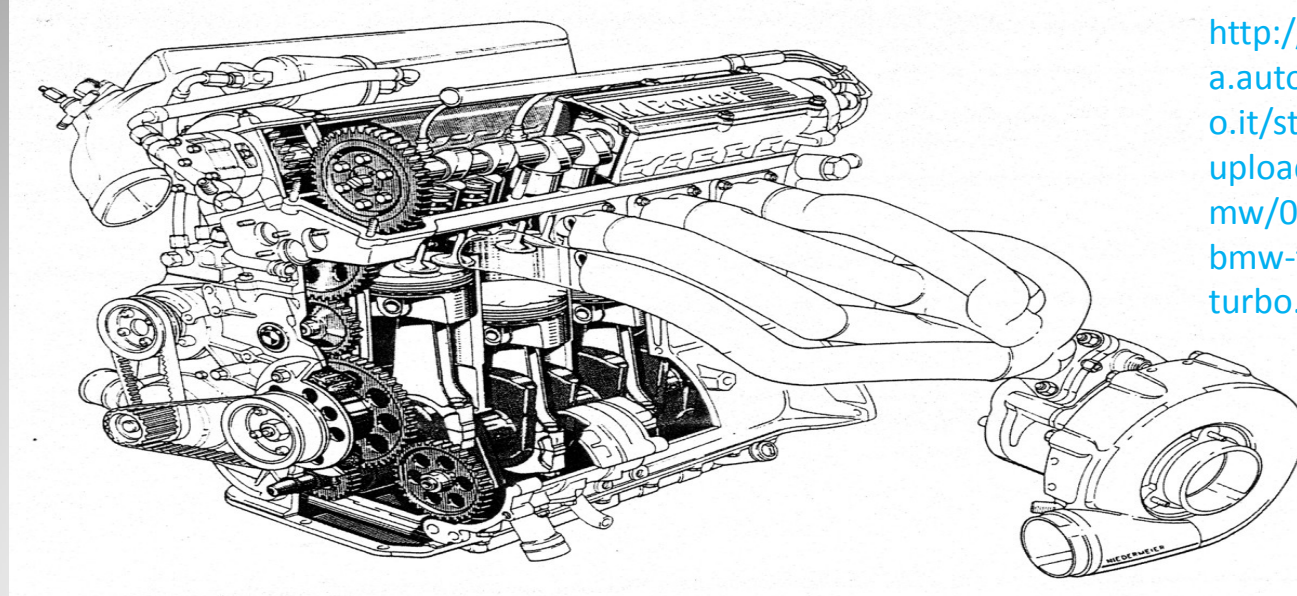
La pompa diventa una soffiante se non supera i tre bar di pressione.

Per i compressori TurboCompressi Assiali si rimanda a corsi più specifici.

TurboCompressore, Centrifugo, Applicazioni Automobilistiche

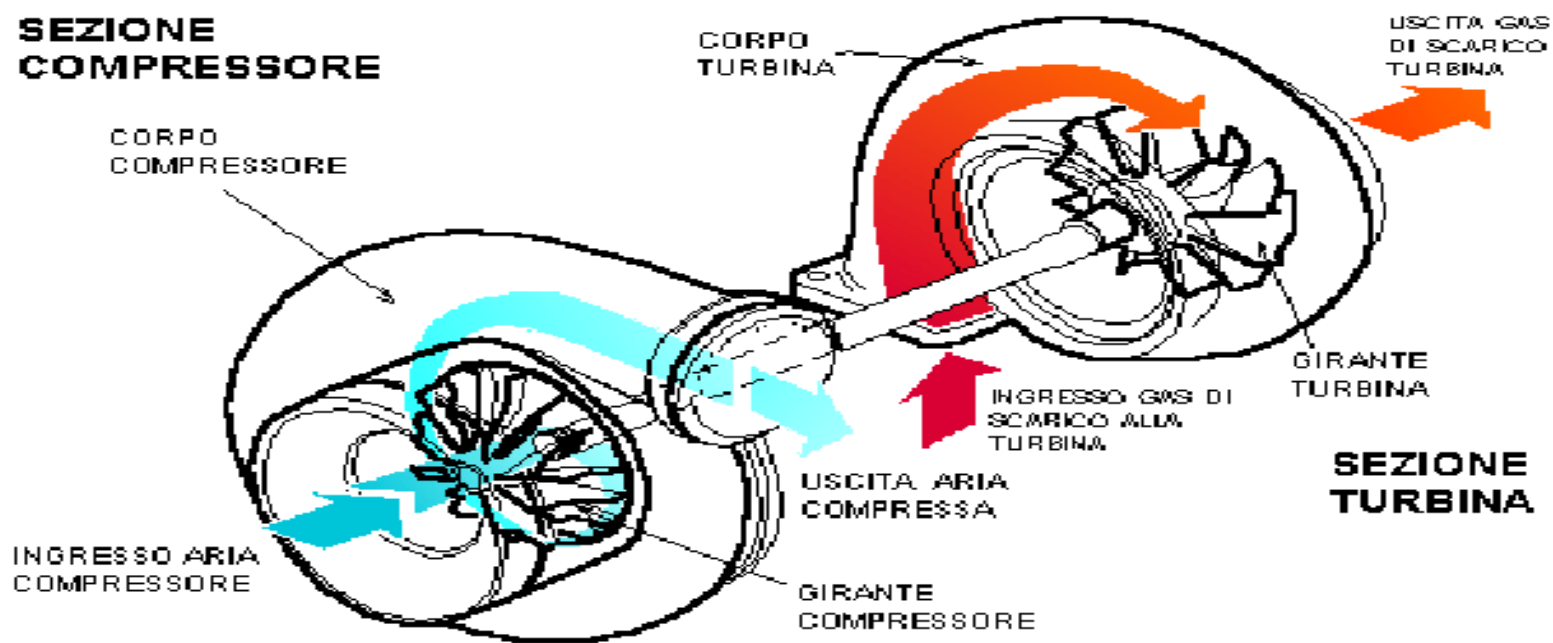


*TurboCompressore,
Centrifugo
Applicazioni
Automobilistiche*



<http://imga.automoto.it/static/upload/bmw/0047/bmw-f1-turbo.jpg>

SEZIONE COMPRESSORE



http://cdn-autosprint.com/orrieredello-sport.it/wp-content/uploads/2014/06/turbocompressore_funzionamento_clip_image001.png

Macchine Frigorifere e Pompa di Calore

Il Primo Principio della Termodinamica, con l'enunciato di Clausius, afferma che il calore passa spontaneamente da una sorgente calda a quella fredda ma, per passare dalla sorgente fredda alla calda, bisogna spendere lavoro (Termodinamica, n.13).

Da qui le macchine Frigorifere che non sono altro che macchine operatrici che prelevano energia da un motore sottraendo calore da un corpo più freddo per trasferirlo ad un altro più caldo.

La Pompa di Calore funziona allo stesso modo, solo che trasferisce calore, prelevato da un ambiente esterno a temperatura inferiore, nell'ambiente caldo a temperatura superiore.

Lo schema è quello già visto (Termodinamica, n.23) ed è eseguito in senso antiorario rispetto al ciclo di Carnot, che è completamente reversibile. Esso non crea freddo ma trasferisce calore da una fonte fredda a una calda.

Schema a blocchi delle Macchine Frigorifere: Le Fasi

Tratto 1>2: Evaporazione, lo scambiatore di calore all'interno del fluido assorbe calore " Q_0 " a bassa temperatura, sottraendolo dall'ambiente freddo a temperatura " T_0 ", all'interno del frigorifero;

Tratto 2>3: Compressione, il motore esterno comprime il fluido;

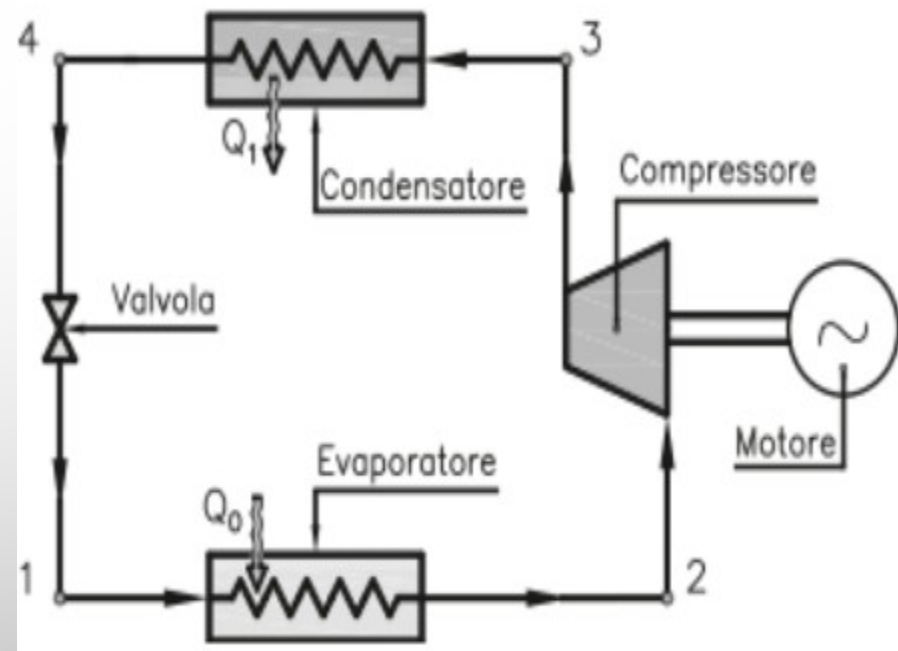
Tratto 3>4: Condensazione del fluido, in un altro scambiatore di calore sempre all'interno del fluido, si cede calore " Q_1 " a temperatura " T_1 "

nell'ambiente caldo all'esterno;

Tratto 4>1: Espansione, con pressione e temperature in diminuzione mediante una valvola o un motore termico.

Il lavoro di espansione prodotto in questa fase può essere utilizzato da una macchina motrice.

Figura Tratta da Hoepli, Testo Scolastico Adottato



Trasformazioni di un Ciclo Frigorifero, inverso a quello di Carnot

(Termodinamica, n. 24 e 38)

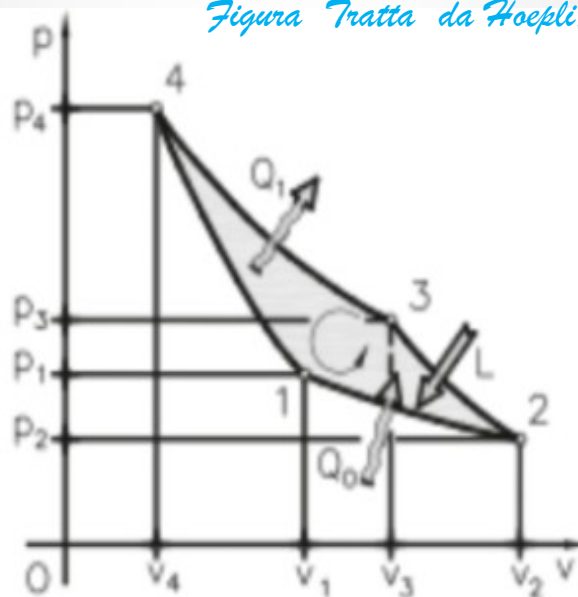
Tratto 1>2: Espansione isoterma, assorbimento, dalla sorgente fredda a temperatura " T_0 ", del calore " Q_0 ", il titolo " X " aumenta:

Tratto 2>3: Compressione adiabatica a $T_0 = \text{cost}$ all'interno del compressore, il fluido si trasforma in vapore saturo secco e la temperatura passa ad un valore più alto " T_1 ";

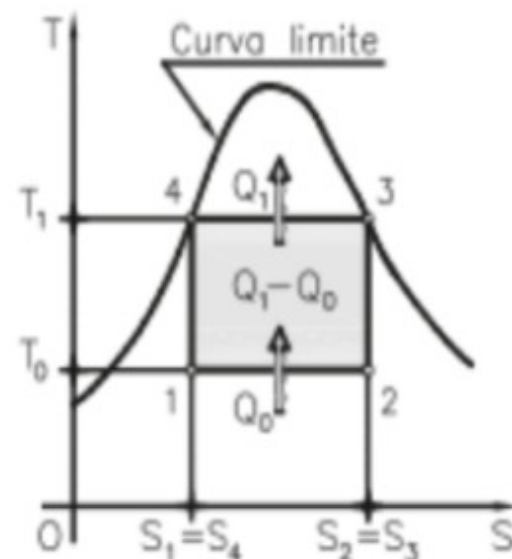
Tratto 3>4:

Compressione isoterma, il fluido cede " Q_1 " alla sorgente più calda, calore latente di condensazione, il fluido, adesso è liquido saturo ($X=0$, sulla curva limite inferiore)

Figura tratta da Hoepli, Testo Scolastico Adottato



(a)



(b)

Tratto 4>1: Espansione adiabatica fino ai valori di partenza di pressione e di temperatura "T₀", il fluido che era a temperatura "T₀" si raffredda.

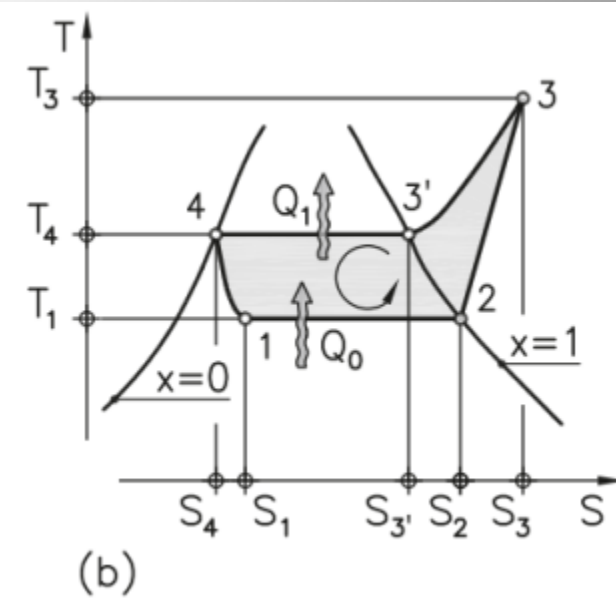
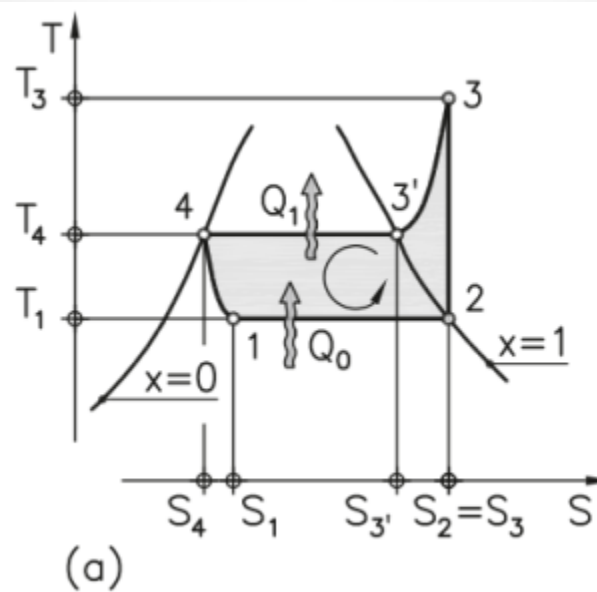
Nelle figure sottostanti, si rappresenta il Ciclo di Rankine già visto
(Macchine Termiche, n. 2).

In (a) il ciclo ideale e (b) quello reale rappresentati sul diagramma Temperatura-Entropia.

I cicli differiscono, rispetto al ciclo di Carnot per la trasformazione 4>1: Espansione, è un raffreddamento isentalpico in cui il vapore passa per una

Figura Tratta da Hoepli, Testo Scolastico Adottato

valvola senza variare l'entalpia ma con aumento di entropia. La compressione 2>3 avviene interamente nei vapori surriscaldati, compressione secca.

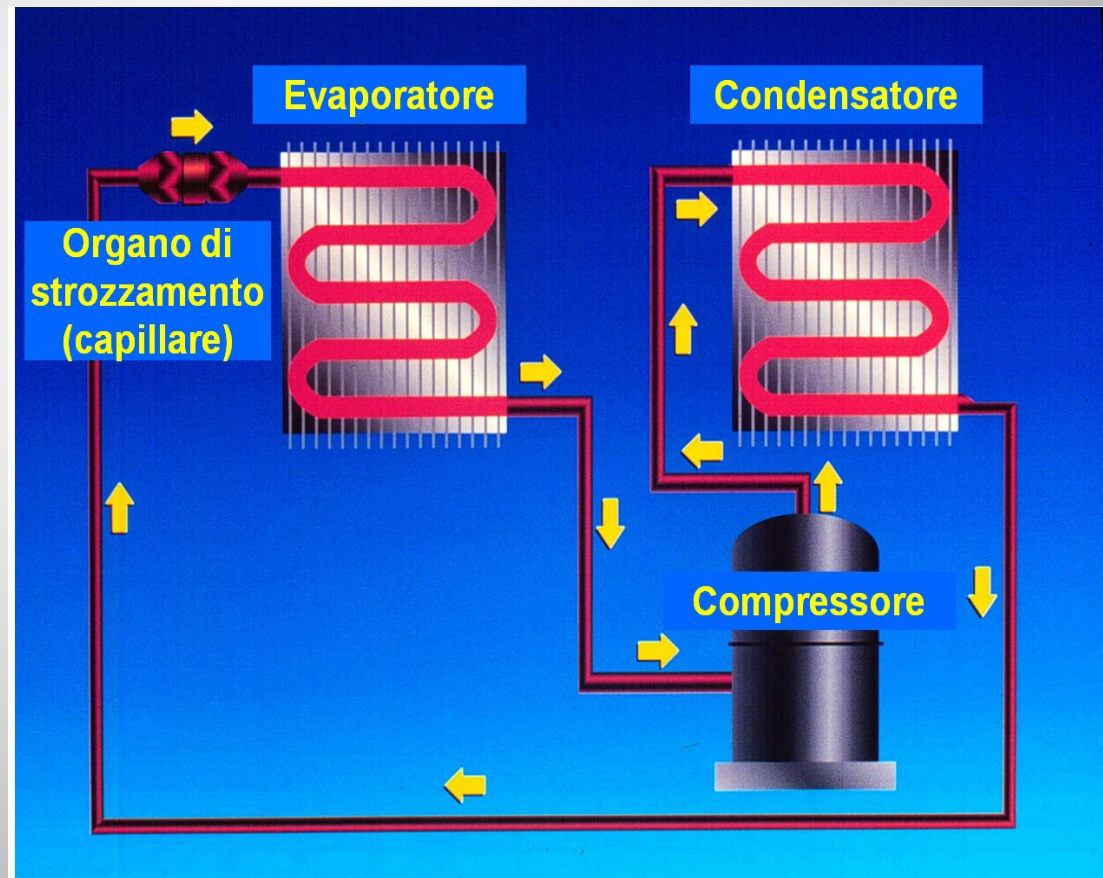


La trasformazione $4 \rightarrow 1$ è una isentalpica ($h = \text{cost}$) cioè il fluido attraversa una strozzatura capillare di qualche decimo di millimetro (valvola di laminazione) che separa i due ambienti che sono rispettivamente a pressione maggiore e minore, inoltre, la velocità del fluido aumenta a spese della riduzione dell'entalpia e di pressione.

<http://www.bing.com/images/search?q=ciclo+frigo+disegno+disegni&view=detailv2&qpv=ciclo+frigo+disegno+disegni&id=03BA0D9190242E6AB38D298253727368829CAA27&selectedIndex=2&ccid=frlcE9fr&simid=608003727251603522&thid=OIP.M7eb95c13d7eb629d38051a71718760a3o0&ajaxhist=0>

Il vapore aspirato dal compressore non è secco ma saturo umido e il titolo "x" può essere regolato dalla valvola di strozzamento.

Il condensatore è immerso e la differenza tra la temperatura all'entrata e quella di



condensazione del vapore è di fra 8 e 10 .

Il vaporizzatore è posto nell'ambiente refrigerante attraversate da correnti d'aria o in vasche per il raffreddamento diretto di un liquido.

I tubi dei serpentini refrigeranti si ricoprono di brina che

isolano, purtroppo, la trasmissione del calore. L'effetto Frigorifero è la quantità di calore sottratta alla sorgente fredda da 1kg di fluido. Il

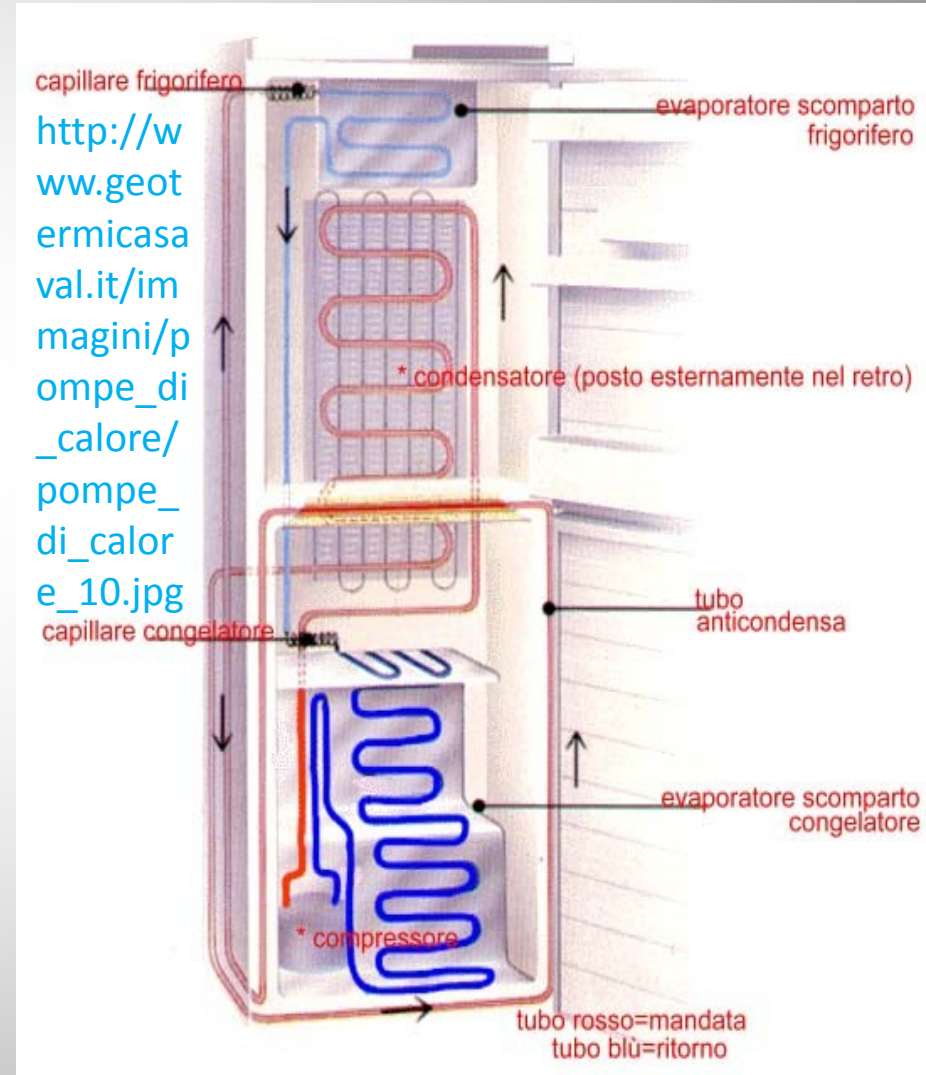
Rendimento o Rapporto di

Utilizzazione: $\eta_f = Q_0 / Q_1 - Q_0$ e, per

Carnot, invertito, $\eta_f = T_0 / T_1 - T_0$,

quindi, minore è la differenza al

denominatore (Temperatura tra la sorgente calda e fredda) e maggiore è η_f .



Bilanci Energetici in funzione dell'Entropia

$$L = h_3 - h_2, \quad Q_0 = h_2 - h_1 \quad \text{e} \quad Q_1 = h_3 - h_4$$

Il calore riversato nell'ambiente, $Q_1 = L + Q_0 = (h_3 - h_2) + (h_2 - h_1) = h_3 - h_1$

Ma la trasformazione 4>1 è isentalpica ($h_4 = h_1$)

$$\text{e } Q_1 = (h_3 - h_4)$$

da cui l'Efficienza Frigorifera, $E_f = Q_0 / L = h_2 - h_1 / h_3 - h_2$

La Potenza Frigorifera

$$P_f = G(h_2 - h_1) \quad (\text{con } G = \text{Portata massica del fluido frigorifero})$$

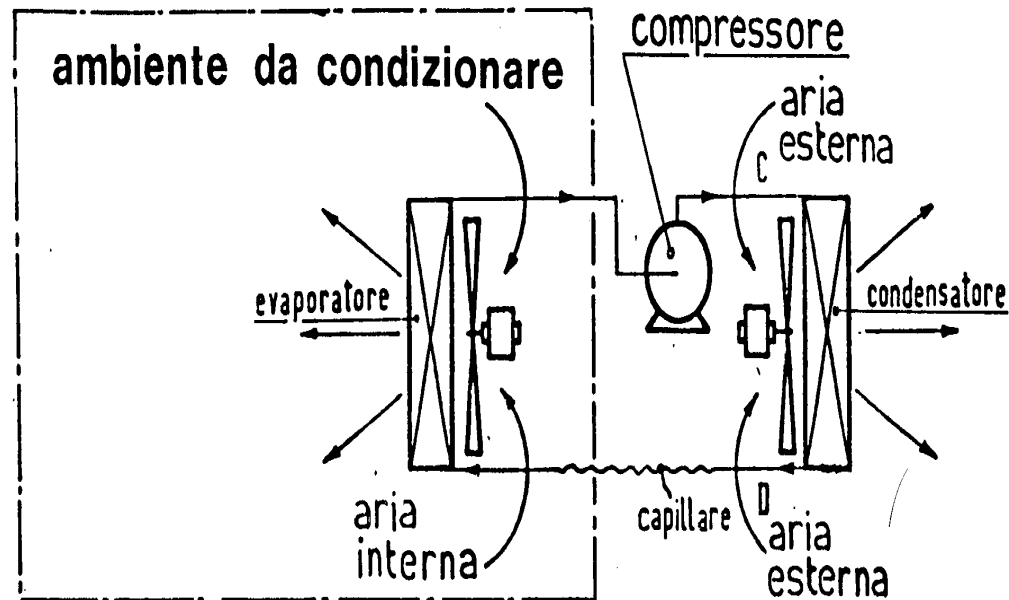
L'Efficienza Frigorifera per una

Pompa di Calore è:

$$E_{pc} = Q_1 / L = h_3 - h_4 / h_3 - h_2$$

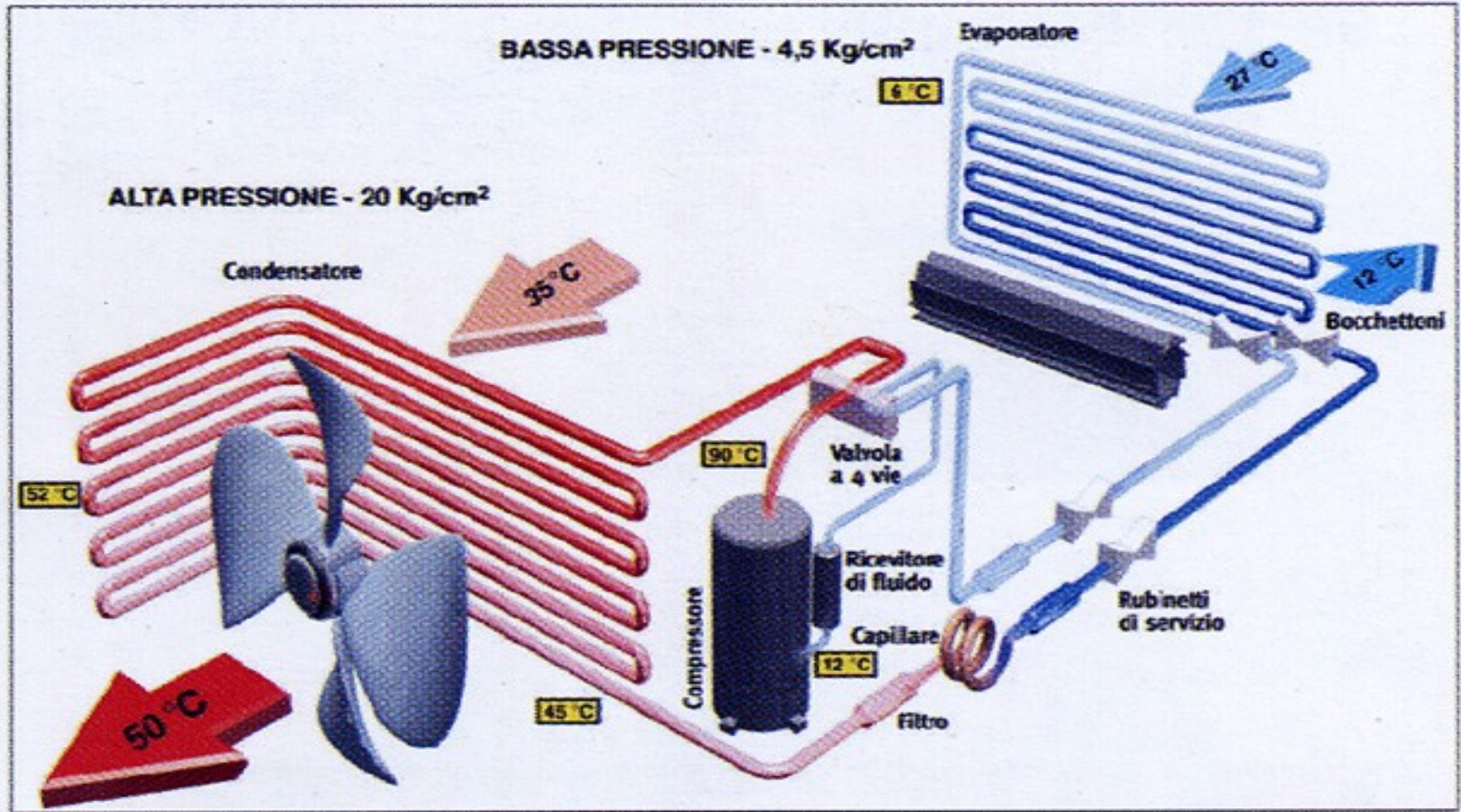
Perché riversa calore "Q1"

nell'ambiente ad alta temperatura



http://www.geotermicasaval.it/immagini/pompe_di_calore/pompe_di_calore_10.jpg

SITUAZIONE ESTIVA



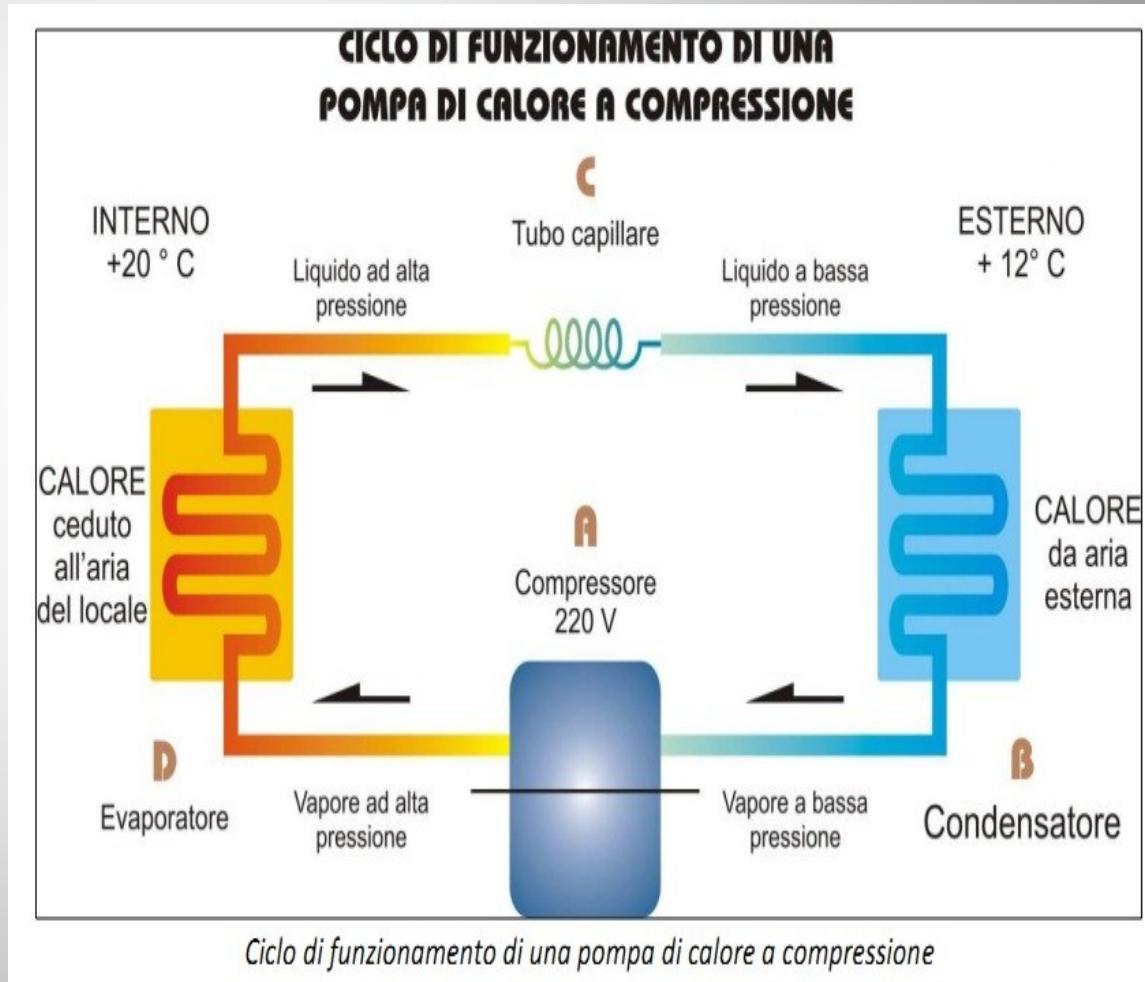
Pompa di Calore

Funzionano con lo stesso ciclo frigorifero, Rankine, già illustrato.

Si sottrae calore da sorgenti a temperature ambientali (acqua superficiale o sotterranee) e si cede a temperature non troppo alte (acque per riscaldamento)

L'energia meccanica spesa è minore dell'energia termica utilizzata.

La pompa di calore è un climatizzatore, una macchina reversibile che inverte il ciclo raffreddando un ambiente d'estate e riscaldandolo d'inverno con valori efficienti anche in situazioni critiche.



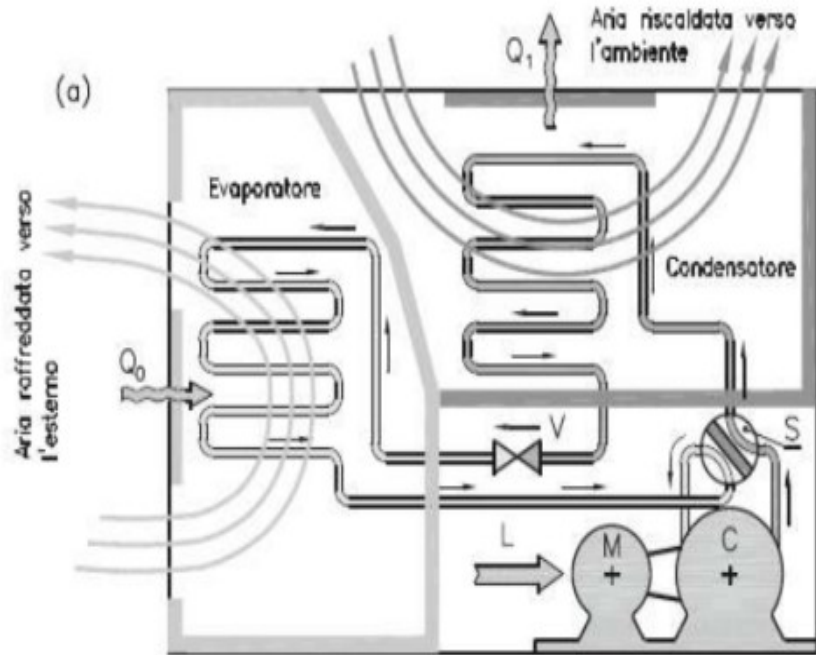
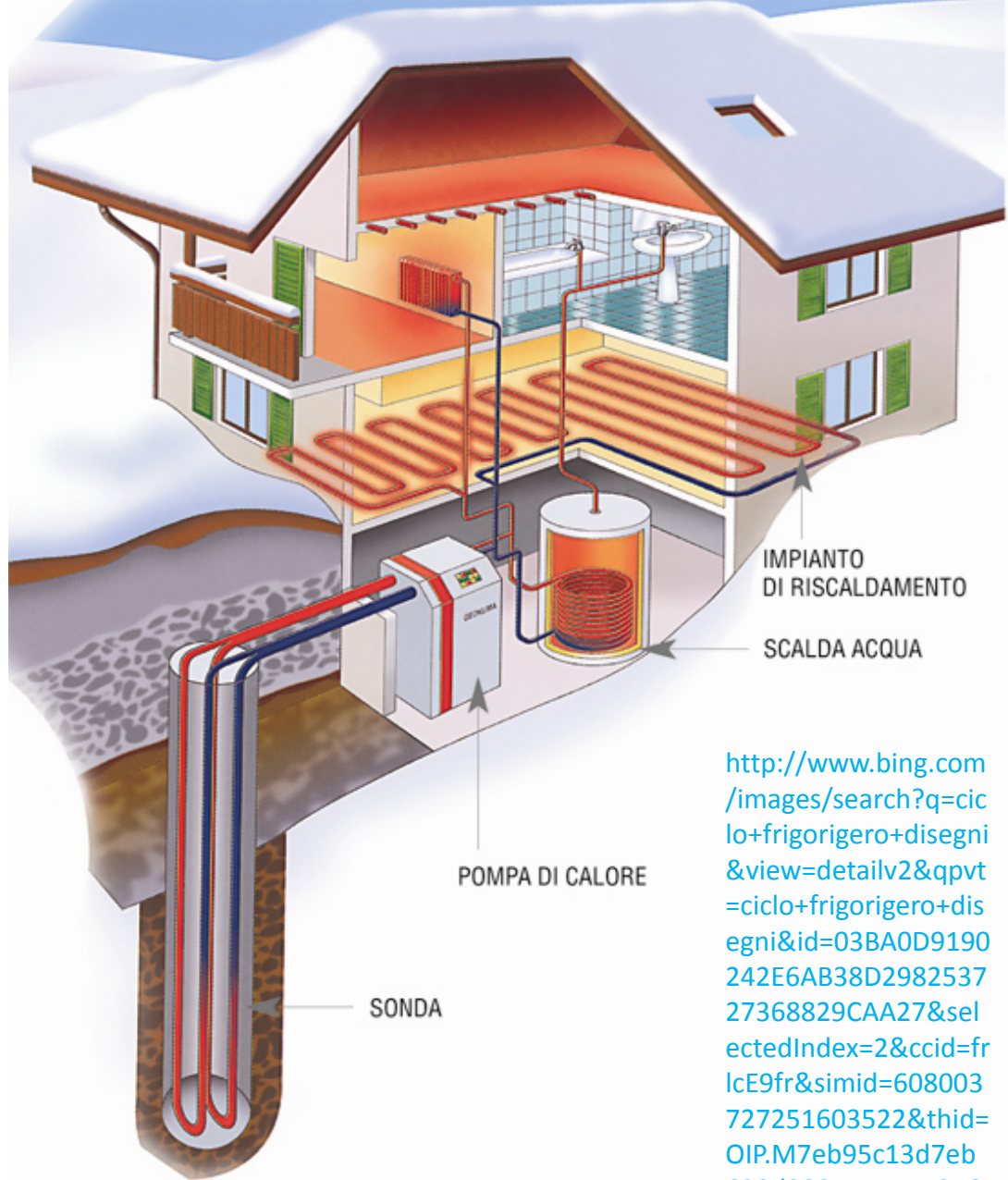
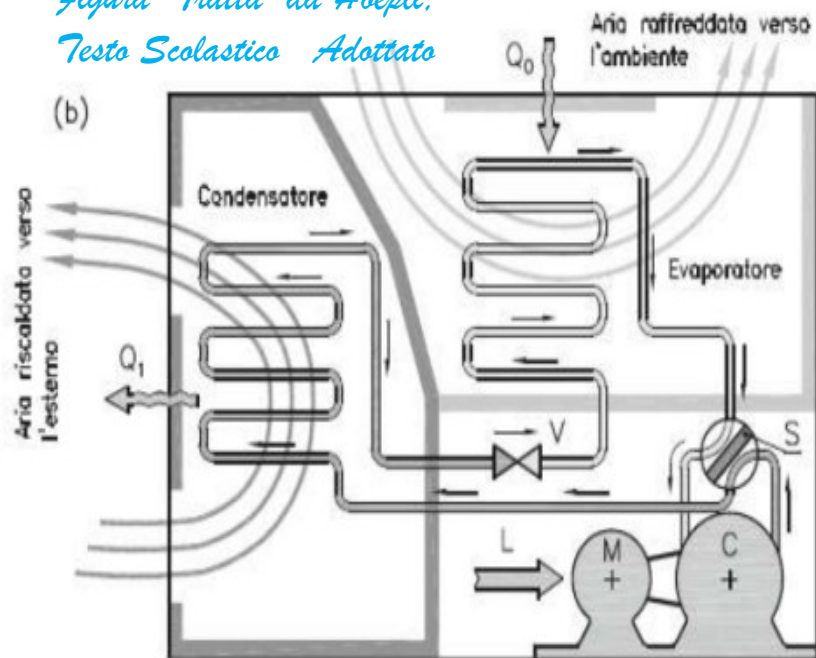


Figura Tratta da Hoepli,
 Testo Scolastico Adottato



<http://www.bing.com/images/search?q=ciclo+frigorifero+disegni&view=detailv2&qpv=ciclo+frigorifero+disegni&id=03BA0D9190242E6AB38D298253727368829CAA27&selectedIndex=2&ccid=frlcE9fr&simid=608003727251603522&thid=OIP.M7eb95c13d7eb629d38051a71718760a3o0&ajaxhist=0>