



Cicli frigorigeni o frigoriferi

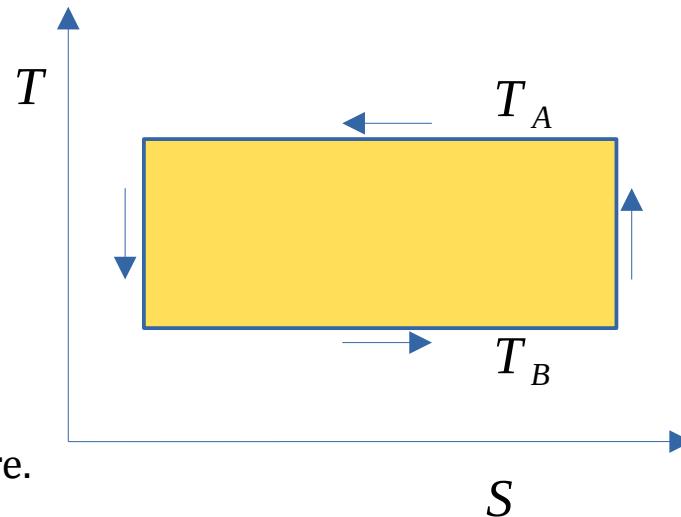
Cicli frigoriferi o frigoriferi

Consideriamo ancora un ciclo di Carnot, ma stavolta eseguito in senso inverso. È possibile farlo, perché la macchina di Carnot è reversibile.

Quindi preleviamo calore alla temperatura inferiore e lo scarichiamo alla temperatura superiore.

$$0 = Q_B - Q_A - L$$

$$-L = Q_A - Q_B > 0$$



Il lavoro sarà negativo, perché fornito alla macchina per funzionare.

Esistono molti cicli frigoriferi. Il Primo Principio e queste definizioni valgono per tutte.

Per un ciclo frigorifero non si parla di rendimento, ma di COP = Coefficient Of Performance ovvero *coefficiente di prestazione*.

Cicli frigoriferi o frigoriferi

Ci sono due definizioni possibili, a seconda dell'obiettivo operativo della macchina:

- COP frigorifero: vogliamo estrarre calore dalla sorgente a temperatura più bassa.

$$COP_{frigorifero} = \frac{Q_B}{-L} = \frac{Q_B}{Q_A - Q_B} = \frac{1}{\frac{Q_A}{Q_B} - 1} \quad \text{per le macchine di Carnot} \quad \frac{1}{\frac{T_A}{T_B} - 1}$$

- COP di pompa di calore: vogliamo usare il calore estratto dall'esterno per riscaldare un ambiente a temperatura più alta.

$$COP_{pompadicalore} = \frac{Q_A}{-L} = \frac{Q_A}{Q_A - Q_B} = \frac{1}{1 - \frac{Q_B}{Q_A}} \quad \text{per le macchine di Carnot} \quad \frac{1}{1 - \frac{T_B}{T_A}}$$

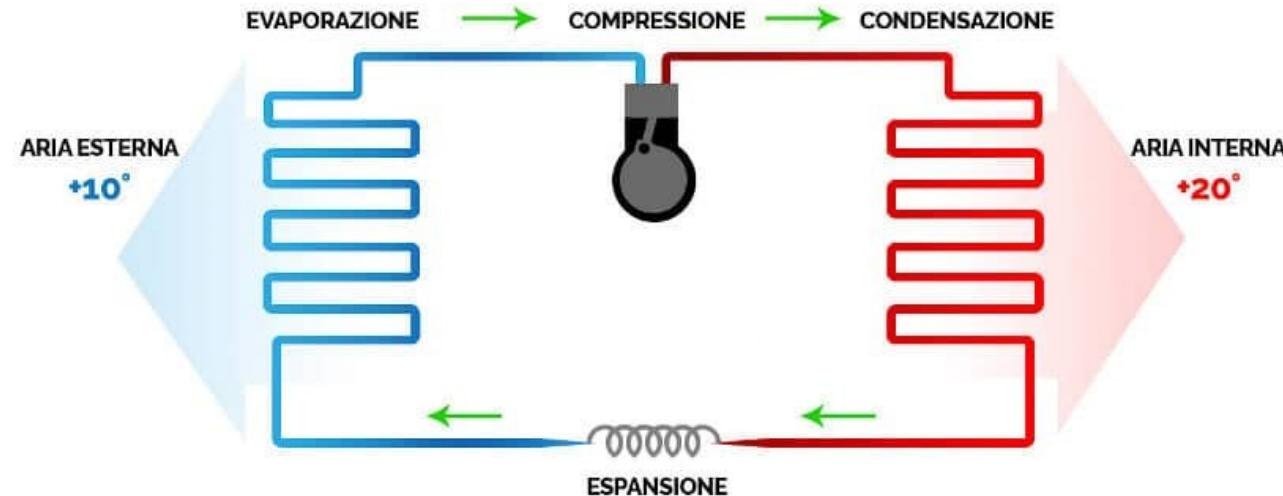
Cicli frigoriferi o frigoriferi

Osserviamo che il COP diventa elevatissimo quando le temperature sono molto vicine.

- Esempio: casa a 22 °C (295 °K), ambiente esterno a 35 °C (308 °K), $\text{COP}_{\text{Carnot}} = 22$
Quindi ogni J di lavoro con una macchina di Carnot porterebbe a 22 J di calore rimossi
Con una macchina reale non sarebbe fantascientifico avere $\text{COP} = 15$.
- Reefer (container refrigerato) a -20 °C (253 °K), ambiente esterno a 40 °C (313 °K), $\text{COP}_{\text{Carnot}} = 4,21$
Con un reefer reale, $\text{COP} = 2 \sim 3$ non sarebbe impossibile

Con salti termici così contenuti, non è facile realizzare trasformazioni isoterme

Di fatto l'uso di fluidi in transizione di fase è praticamente obbligatorio!



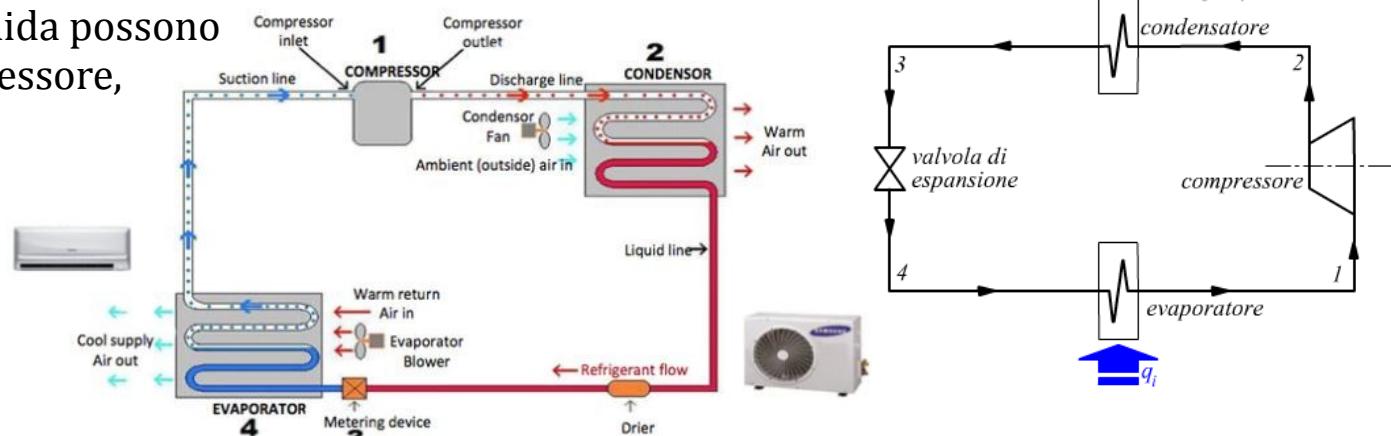
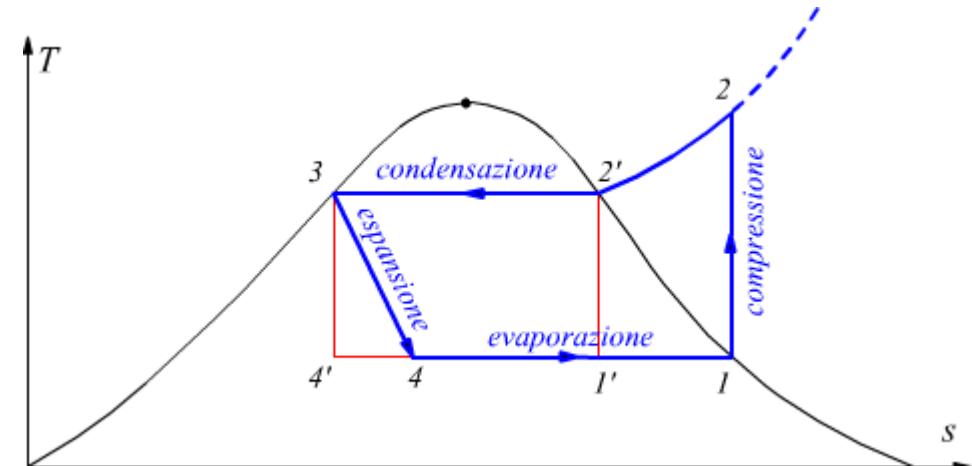
Cicli frigoriferi o frigoriferi

Ciclo termodinamico di una pompa di calore reale
In rosso il ciclo ideale, in blu quello reale

L'espansione in valvola non è isoentropica (non è reversibile)

Conviene allargare il ciclo sulla destra e portare l'evaporazione a conclusione

Le goccioline di fluido in fase liquida possono danneggiare le palette del compressore,
meglio comprimere solo gas



Richiami ed argomenti correlati

Macchine termiche e cicli termodinamici

Il ciclo di Carnot

È il ciclo con il massimo rendimento possibile operante tra due temperature estreme T_A e T_B .

$$1: Q_1 = Q_A; L = L_1$$

$$2: Q_2 = 0; L = L_2$$

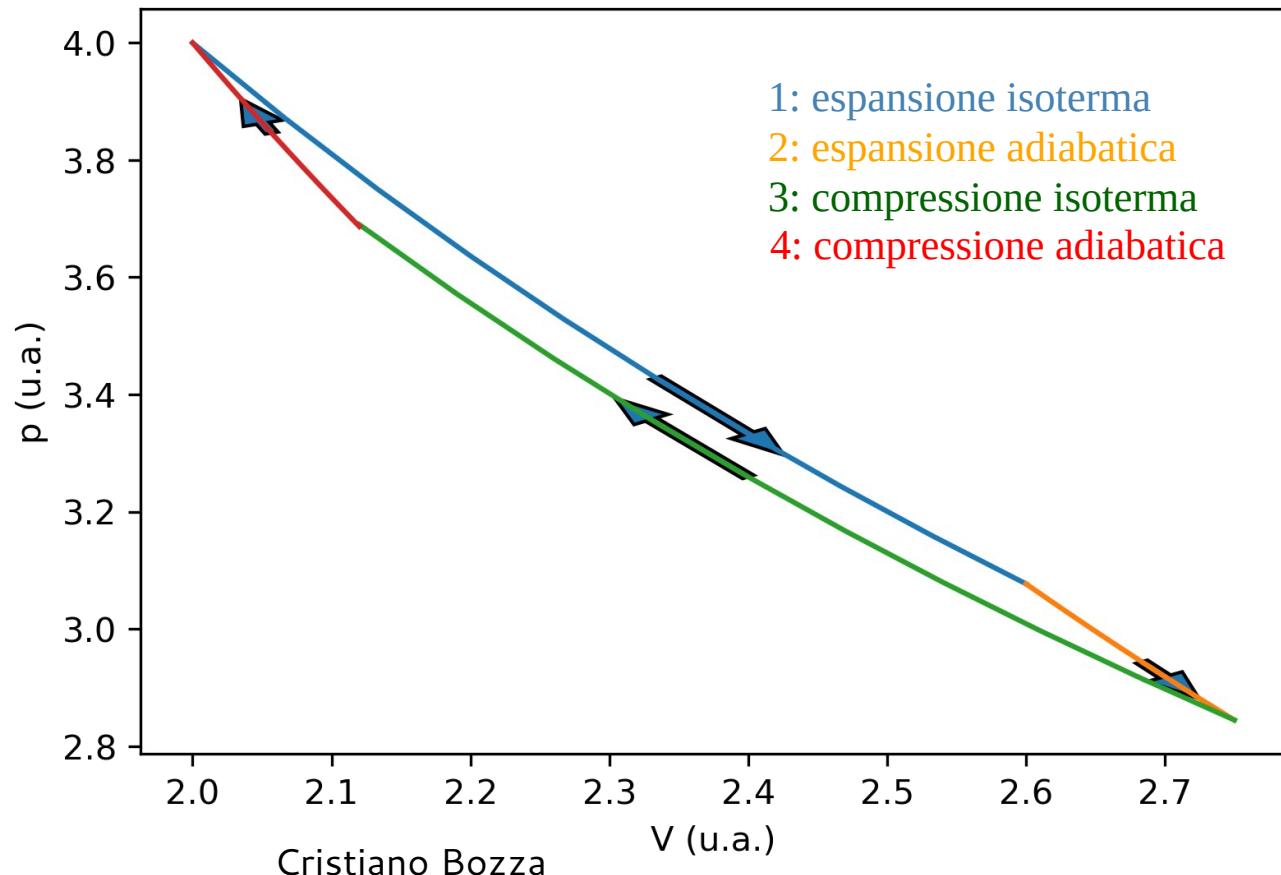
$$3: Q_3 = -Q_B; L = L_3$$

$$4: Q_4 = 0; L = L_4$$

$$Q = Q_A - Q_B$$

$$0 = \Delta U = Q - L \Rightarrow L = Q$$

$$\eta = \frac{L}{Q_A} = \frac{Q_A - Q_B}{Q_A} = 1 - \frac{Q_B}{Q_A}$$



Macchine termiche e cicli termodinamici

Calcoliamo il rendimento con un ciclo di Carnot a gas

$$1: Q_1 = Q_A; L = L_1; dU = \delta Q - p dV \Rightarrow c_v dT = \delta Q - p dV = 0; \delta Q = p dV; Q_A = \int_{V_1}^{V_2} R T_A \frac{dV}{V} = R T_A \log \frac{V_2}{V_1}$$

$$2: T_A V_2^{\gamma-1} = T_B V_3^{\gamma-1}$$

$$3: Q_3 = -Q_B; L = L_3; dU = \delta Q - p dV \Rightarrow c_v dT = \delta Q - p dV = 0; \delta Q = p dV; Q_B = \int_{V_3}^{V_4} R T_B \frac{dV}{V} = R T_B \log \frac{V_4}{V_3}$$

$$4: T_A V_1^{\gamma-1} = T_B V_4^{\gamma-1}$$

$$Q_3 = R T_B \log \frac{(T_A/T_B)^{\frac{1}{\gamma-1}} V_1}{(T_A/T_B)^{\frac{1}{\gamma-1}} V_2} = R T_B \log \frac{V_1}{V_2} = Q_A \frac{T_B}{T_A}$$

$$L = Q = R T_A \log \frac{V_2}{V_1} \left(1 - \frac{T_B}{T_A} \right)$$

$$\eta = \left(1 - \frac{T_B}{T_A} \right) \quad \text{dipende solo dalle temperature estreme!}$$

L'entropia

Riscriviamo il Primo Principio per un sistema idrostatico, in una trasformazione reversibile

$$dU = \delta Q - \delta L = T dS - p dV$$
$$dS = \frac{1}{T} dU - \frac{p}{T} dV$$

Giungiamo alla definizione della **temperatura termodinamica assoluta**

$$\frac{1}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial U} \right)_V$$

Questa definizione è indipendente dalla scelta di un particolare proprietà termometrica, e vale per sistemi qualsiasi (naturalmente per quelli non idrostatici si lasceranno costanti le coordinate termodinamiche legate al lavoro).

Il piano TS

Gli scambi di calore in un ciclo si valutano molto convenientemente sul piano TS

$$\text{In una trasformazione reversibile } dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

$$\delta Q_{rev} = T dS$$

Nei **cicli reversibili**, il calore scambiato (e quindi il lavoro) è l'area del ciclo nel piano TS

Il Ciclo di Carnot ha una rappresentazione particolarmente semplice nel piano TS:

le due isoterme sono segmenti orizzontali;

le due adiabatiche reversibili sono *isoentropiche* (segmenti verticali).

