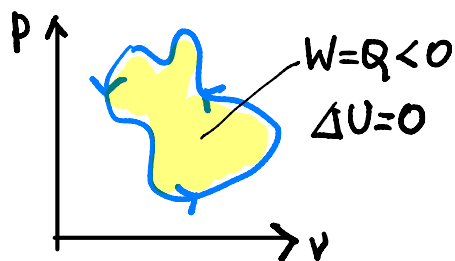
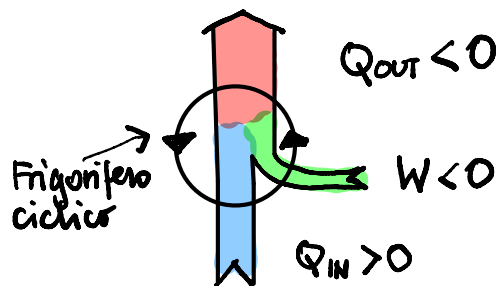


Come anticipato, le macchine che operano in modo quasi-statico potenzialmente possono essere invertite (o progettate inverse) nel loro funzionamento che dunque condurrà a un ciclo percorso in senso antiorario nel piano PV. Questi apparati sono alla base delle macchine frigorifere che, grazie all'apporto di lavoro dall'esterno, trasferiscono energia (calore) da serbatoi "freddi" ad altri (più) "caldi":



con questo schema di bilancio termico

NB: IN/OUT vanno sempre riferiti alla macchina!



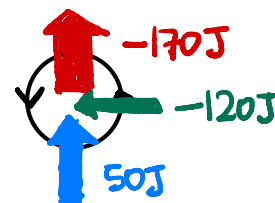
$$0 = \Delta U = Q - W = Q_{in} + Q_{out} - W = Q_{in} - |Q_{out}| - W \Leftrightarrow W = Q_{in} - |Q_{out}|$$

con $W < 0$ (fatto sulla macchina) $\Rightarrow Q_{in} < |Q_{out}|$.

Conviene scrivere, in termini di lavoro "speso", $|W| = |Q_{out}| - Q_{in} > 0$.

Per esempio $Q_{in} = +50J$, $|Q_{out}| = +170J$, $W = -120J$, $|W| = 120J$

NB: valori energetici sempre riferiti allo stesso numero di cicli di funzionamento.



Come nel caso della macchina termica, si vuole misurare la « bontà » di un frigorifero in termini ora del rapporto tra calore estratto "dal freddo" e lavoro corrispondentemente richiesto.

Si definisce il coefficiente di prestazione (COP) del frigorifero come

$$\text{COP} = \frac{Q_{in}}{|W|} = \frac{Q_{in}}{|Q_{out}| - Q_{in}} = \frac{1}{|Q_{out}|/Q_{in} - 1}$$

Nell'esempio appena riportato $\text{COP} = \frac{50}{120} = 0,42$.

Ricordare sempre che qui "IN" è riferito alla macchina e dunque è calore ESTRATTO dall'ambiente (serbatoi "freddi").

L'esempio è utile per evidenziare come sono collegati, tramite il COP, gli scambi termici nel ciclo frigorifero :

dalla $COP = \frac{Q_{IN}}{|W|} \Rightarrow Q_{IN} = COP |W|$: "entrano" 120 J di lavoro e 50 J di calore estratto « dal freddo ».

Per farlo, la macchina cede « al caldo » $(120 + 50) J = 170 J$ di calore, dati da $|Q_{OUT}| = |W| + Q_{IN} = (COP + 1) |W|$. Si può anche scrivere $|Q_{OUT}| = \left(\frac{COP+1}{COP}\right) Q_{IN}$

Diversamente dai limiti sul rendimento, $0 \leq \eta \leq 1$, il COP del frigorifero non è limitato superiormente, basta che sia non-negativo.

La macchina frigorifera "perfetta" è quella che non richiede lavoro per funzionare ed è dunque tale che $COP = \frac{Q_{IN}}{|W|} \rightarrow \infty$:

è $|W|=0$ "il trasferimento di calore dal freddo al caldo avverrebbe senza costo energetico.

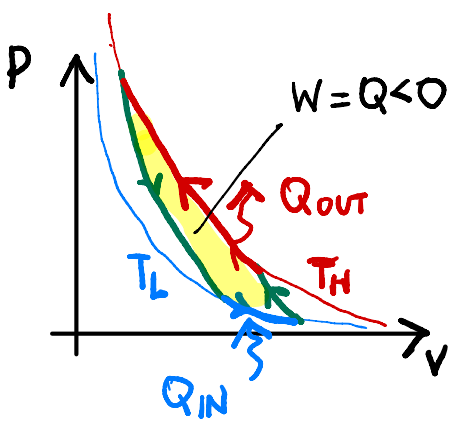
Invece nel caso di produzione di lavoro da fonte termica ($Q \rightarrow W$) la macchina con prestazione "perfetta" ha $\eta = 1$ ovvero non si misura calore ceduto nel processo.

Riassumendo le "speranze" di perfezione termodinamica :

Macchina perfetta	$Q_{OUT} = 0$ $W = Q$	$\eta = 1$	Frigorifero perfetto	$W = 0$ $Q_{IN} = Q_{OUT} $	$COP = \infty$.
----------------------	--------------------------	------------	-------------------------	---------------------------------	------------------

Nessuna delle due può essere realizzata concretamente e sono entrambe manifestazioni di una $STFLA$ proibizione / legge di natura, come vedremo tra poco.

È importante costruire una versione con 2 soli terzatori termici di una macchina frigorifera per realizzare l'equivalente (quasi-statico) del ciclo di Carnot che utilizza il gas ideale per funzionare.



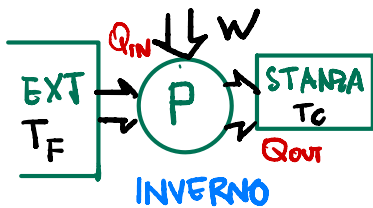
Procedendo esattamente come nel caso già studiato si arriva alla scrittura

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{1}{\frac{|Q_{\text{OUT}}|}{Q_{\text{IN}}} - 1} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

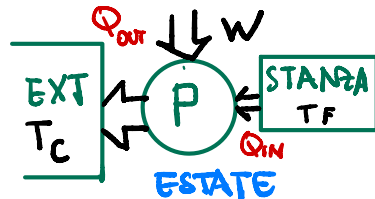
Anche nel caso del « frigorifero di Carnot » la tua "efficacia", cioè il COP, dipende solo dalle temperature dei serbatoi e non dalla natura della sostanza utilizzata per realizzare il ciclo.

Notare anche che, se $T_L \rightarrow 0 \Rightarrow \text{COP}_{\text{carnot}} \rightarrow 0$, cioè se il serbatoio freddo ha temperatura che ti avvicina allo "zero Kelvin" allora la macchina frigorifera per operare ha bisogno di infinita energia: in questo senso, sembra proprio che a $T=0$ non si possa arrivare - se non in un tempo infinito. Quindi mai.

Interessante è l'uso di frigoriferi (eventualmente bi-termici di Carnot) utilizzati come POMPE DI CALORE: servono come sistemi di riscaldamento o raffreddamento a seconda della stagione.



si "raffredda l'esterno"



si "riscalda l'esterno"

si usano le definizioni

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{IN}}}{|Q_{\text{OUT}}| - Q_{\text{IN}}}$$

$$\text{COP}_{\text{CARNOT}} = \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

Esempio di funzionamento invernale: utilizzando un riscaldamento diretto basato su resistenza elettrica servono, per es. 1 kWh di energia. Si immaginino i valori $T_F = 0^\circ\text{C}$, $T_C = 20^\circ\text{C} \Rightarrow \text{COP}_{\text{CARNOT}} = \frac{273}{20} = 13.6$.

Serve un $|Q_{\text{OUT}}| = 1 \text{ kWh}$ per la stanza che la pompa di calore mette in gioco a partire dal risultato già ottenuto $|Q_{\text{OUT}}| = (\text{COP} + 1)|W|$

ovvero un "costo" $|W| = \frac{|Q_{\text{OUT}}|}{\text{COP} + 1} = \frac{1 \text{ kWh}}{14.6} \approx 70 \text{ Wh}$ (14.6 volte minore del riscaldamento diretto!)