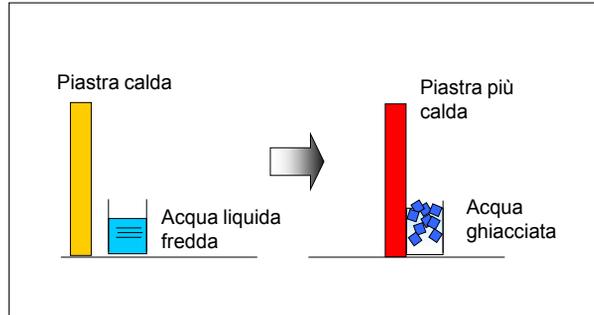


Il Primo Principio della Termodinamica non fornisce alcuna indicazione riguardo ad alcuni aspetti **"pratici"**.

- ***l'evoluzione spontanea*** delle trasformazioni; non individua cioè il verso in cui esse possono avvenire.



Per il Primo Principio il fenomeno descritto qui sopra è descrivibile come scambio di energia: se il calore passasse dall'acqua (temperatura più bassa) alla piastra (temperatura più alta), l'energia dell'acqua diminuirebbe e quella della piastra aumenterebbe.

1

- ***La "qualità" dell'energia e il rendimento delle trasformazioni che avvengono nelle macchine termiche.*** Per il primo principio tutte le energie hanno uguale qualità. In seguito ad una certa trasformazione o ad una serie di trasformazioni in una macchina tutto il calore fornito può essere trasformato in lavoro.



$$Q = L$$

Secondo il Primo Principio è sempre possibile che tutto il calore venga trasformato in lavoro: cioè che il rendimento di una trasformazione, sia essa aperta o ciclica, risulti pari a uno. L'esperienza ha invece mostrato che tale rendimento è pari a uno solo per alcune particolari trasformazioni aperte e che invece è sempre minore di uno per tutte le trasformazioni cicliche.

2

Secondo Principio della Termodinamica

- Il Secondo Principio della Termodinamica si basa sulle osservazioni condotte per oltre un secolo sul funzionamento dei motori termici e sulle macchine frigorifere.
- Il Secondo Principio, al pari del Primo, ha le caratteristiche di un postulato cioè dell'enunciazione di una verità che viene ritenuta tale fintanto che qualcuno non dimostrerà il contrario.
- Il Secondo Principio si presenta in molteplici forme "enunciati": ognuna lo descrive da un particolare punto di vista, ma ognuna di queste particolari descrizioni permette di trarre tutte le indicazioni che sono contenute nelle altre.
- Le molteplici forme assunte dall'enunciato del Secondo Principio si rifanno, principalmente, agli *enunciati originali* espressi rispettivamente da *Lord Kelvin*, *Max Planck* e *Julius Clausius*.

3

Motori Termici

Per **trasformare il calore in lavoro** sono necessari degli opportuni dispositivi che vengono detti **motori termici** i quali hanno le seguenti caratteristiche:

- Funzionano secondo trasformazioni cicliche: alla fine di ogni ciclo la macchina si ripresenta nelle condizioni iniziali pronta per fornire ancora lavoro.
- Ricevono calore da una sorgente a temperatura elevata: collettori solari, bruciatori alimentati da combustibili fossili, reattori nucleari.
- Convertono parte del calore assorbito in lavoro, sotto forma ad esempio di rotazione di un albero motore.
- Cedono la parte che non è possibile utilizzare del calore assorbito a una sorgente a temperatura bassa: l'aria atmosferica, l'acqua di un fiume o del mare, etc.

4

Sorgenti di Calore

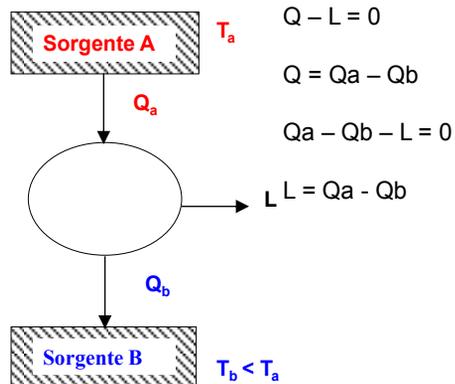
sorgenti di calore

corpi di massa talmente grande da poter cedere od assorbire una qualsiasi quota di calore senza che la loro temperatura subisca variazioni.

Esempio: un processo di combustione, il sole, l'aria atmosferica, l'acqua di un lago, del mare, di falda...

5

Rappresentazione schematica di una macchina termica

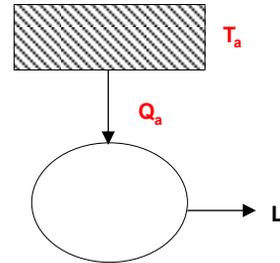


6

Secondo Principio secondo Kelvin-Planck

I risultati delle esperienze condotte nello sviluppo delle macchine termiche hanno dimostrato praticamente che esiste un limite alla trasformazione di calore in lavoro, ed è impossibile convertire in lavoro, mediante un processo che operi con continuità, tutto il calore sottratto ad una sorgente. Sinteticamente questo è riassunto nell'*enunciato di Kelvin-Planck* del secondo principio:

E' impossibile costruire una macchina operante secondo un processo ciclico che trasformi in lavoro tutto il calore estratto da una sola sorgente a temperatura uniforme e costante nel tempo.



Questa macchina non può funzionare!

7

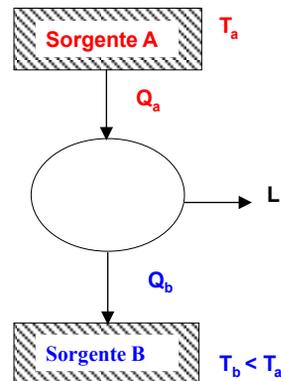
Rendimento di una macchina termica

$$\eta = \text{rendimento} = \frac{\text{risultato ottenuto}}{\text{energia impiegata}} = \frac{L}{Q_a}$$

1° Principio sistema chiuso e trasformazione ciclica

$$\begin{aligned} \Delta U &= Q - L \\ 0 &= Q - L \quad Q = L \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{L}{Q_a} = \frac{Q_a - Q_b}{Q_a} = 1 - \frac{Q_b}{Q_a}$$



8

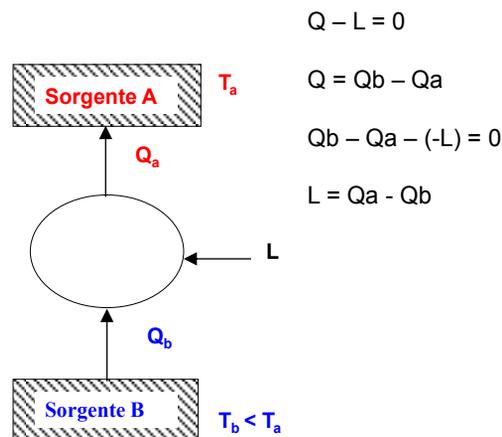
Macchine frigorifere e Pompe di calore

E' esperienza comune che il calore passa spontaneamente da corpi a temperatura elevata a corpi a bassa temperatura. Per fare avvenire il processo contrario è necessario mettere a punto degli opportuni dispositivi che vengono detti **macchine frigorifere o pompe di calore**, i quali hanno le seguenti caratteristiche:

- Funzionano secondo trasformazioni termodinamiche cicliche: alla fine di ogni ciclo la macchina si ripresenta nelle condizioni iniziali pronta trasferire ancora calore.
- Assorbono calore da una sorgente a bassa temperatura.
- Cedono il calore assorbito a una sorgente a temperatura elevata.
- Necessitano di una ulteriore quota di energia immessa dall'esterno sotto forma di lavoro (o calore).

9

Rappresentazione schematica di una macchina frigorifera



10

Secondo Principio secondo Clausius

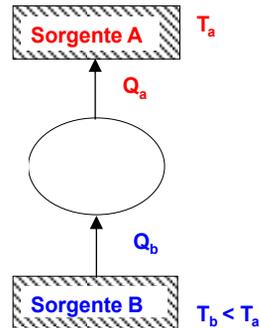
L'esperienza dimostra che il passaggio *spontaneo* di calore avviene solo da un corpo ad alta temperatura ad uno a bassa temperatura.

Mediante l'intervento dell'uomo, o se si preferisce mediante l'intervento di una macchina, è invece possibile far passare del calore da corpi a bassa temperatura a corpi ad alta temperatura.

Anche questo trasferimento *forzato* di calore ha dei limiti riassunti nell'enunciato del Secondo Principio che va sotto il nome di Clausius:

E' impossibile costruire una macchina operante secondo un processo ciclico il cui unico risultato sia il trasferimento di calore da un corpo a temperatura inferiore ad un corpo a temperatura superiore.

Questa macchina non può funzionare!



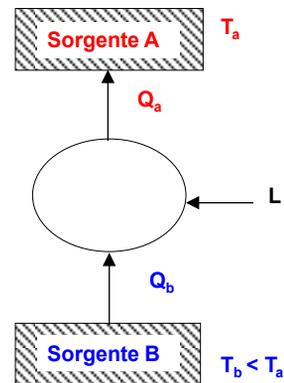
11

Prestazione di una macchina frigorifera

$$COP_F = \left(\begin{array}{l} \text{coefficiente} \\ \text{di prestazione} \end{array} \right) = \frac{\text{risultato ottenuto}}{\text{energia impiegata}} = \frac{Q_b}{L}$$

$$COP_{PdC} = \left(\begin{array}{l} \text{coefficiente} \\ \text{di prestazione} \end{array} \right) = \frac{\text{risultato ottenuto}}{\text{energia impiegata}} = \frac{Q_a}{L}$$

$$\Delta U = Q - L = 0 \quad \text{1° Principio cicli}$$



$$COP_F = \frac{Q_b}{L} = \frac{Q_b}{Q_a - Q_b} = \frac{1}{\frac{Q_a}{Q_b} - 1}$$

$$COP_{PdC} = \frac{Q_a}{L} = \frac{Q_a}{Q_a - Q_b} = \frac{1}{1 - \frac{Q_b}{Q_a}}$$

$$COP_{PdC} = COP_F + 1$$

12

Reversibilità e Irreversibilità dei Processi

Una **trasformazione reversibile** è una trasformazione che può essere ripercorsa in senso inverso **senza** che se ne trovi **traccia** ne sul **sistema** che la esegue ne sull'**ambiente** circostante. Una **trasformazione reversibile** è una trasformazione ideale nella quale gli **attriti** sono **nulli** e gli scambi di energia possono essere invertiti di segno. Nella realtà ci si può solo avvicinare a tale processo ideale senza però mai realizzarlo completamente. Le trasformazioni reversibili sono tuttavia di grande utilità come strumento di confronto con le trasformazioni reali.

Le macchine motrici (motori alternativi, turbine a vapore o a gas) che operano secondo cicli reversibili producono il massimo lavoro possibile.

Le macchine operatrici (compressori, ventilatori, pompe) che operano secondo cicli reversibili richiedono la minor quantità di lavoro possibile.

Quanto più in una macchina reale ci si avvicina a un ciclo reversibile tanto maggiore sarà il lavoro ottenuto da una macchina motrice e minore il lavoro richiesto da una macchina operatrice.

Le cause che rendono le trasformazioni reali *trasformazioni irreversibili* sono le seguenti:

- presenza di attrito: legato a organi in movimento;
- espansioni e compressioni non quasi-statiche
- scambi di calore attraverso salti finiti di temperatura

13

Teoremi di Carnot

- ***Il rendimento di un motore termico irreversibile è sempre inferiore a quello di uno che operi in maniera reversibile tra le stesse sorgenti di calore.***
- ***I rendimenti di tutti i motori termici reversibili che operino tra le stesse sorgenti di calore sono gli stessi***

La loro negazione è in contrasto con il secondo principio.

Il rendimento di un ciclo reversibile dipende solo dalle temperature delle sorgenti:

$$\eta = 1 - \frac{Q_b}{Q_a} \quad \eta_{rev} = f(T_a, T_b)$$

e quindi:

$$\frac{Q_b}{Q_a} = f(T_a, T_b)$$

14

Rendimento di un motore reversibile

Lord Kelvin propose di scegliere la scala di temperatura in modo che valesse la relazione più semplice tra quantità di calore scambiate e temperature a cui avviene lo scambio:

$$\frac{Q_b}{Q_a} = \frac{T_b}{T_a}$$

E' nata così la scala assoluta o Kelvin per le temperature e si può dire che il rendimento di un motore di Carnot o di un qualsiasi altro motore reversibile tra due sorgenti a temperature T_a e T_b vale:

$$\eta_{rev} = 1 - \frac{T_b}{T_a}$$

15

Prestazioni di macchina frigorifera e pompa di calore reversibili

allo stesso modo per una macchina frigorifera che opera secondo un ciclo reversibile vale allora la relazione:

$$COP_F = \frac{Q_b}{L} = \frac{Q_b}{Q_a - Q_b} = \frac{1}{\frac{Q_a}{Q_b} - 1} = \frac{1}{\frac{T_a}{T_b} - 1}$$

allo stesso modo per una pompa di calore che opera secondo un ciclo ideale vale allora la relazione:

$$COP_{PdC} = \frac{Q_a}{L} = \frac{Q_a}{Q_a - Q_b} = \frac{1}{1 - \frac{T_b}{T_a}}$$

16