

6° Lezione

5° Lezione

Termodinamica

- **Bellini-Manuzio, Fisica per le Scienze della Vita, Piccin (viale regina margherita 290)**
- **Serway-Jewett, Principi di Fisica, EdiSes**
- **-Physics in Biology and Medicine, Paul Davidovits, Elsevier Academic Press**
- **-Physics of the Human Body, Irving P. Herman, Springer.**

• 1° principio riassunto:

Stabilisce equivalenza tra il calore scambiato e il lavoro meccanico.

- **il calore assorbito o ceduto da un sist termodinamico ne modifica l'energia interna**
- **-il lavoro meccanico eseguito su o dal sistema ne modifica l'energia interna**

$$\Delta U = U_f - U_i = \overset{\text{calore}}{Q} + \underset{\text{lavoro}}{W}$$

L'energia interna

L'energia interna che un corpo possiede si riflette sui parametri termodinamici macroscopici del corpo

→ **l'energia interna di un corpo è una funzione di stato cioè solo dello stato iniziale e finale (non dal tipo di trasformazione)**

- **2° principio :**

Assetto formale ai vincoli che la natura pone al procedere di certi fenomeni termodinamici. Stabilisce:

- **(L→Q sempre):** L'energia meccanica può essere convertita completamente in calore (ex. Attrito)
- **(Q→L non sempre):** Non è sempre possibile convertire il calore in energia meccanica. In particolare non è mai possibile con una sola sorgente.

• 2° principio termodinamica :

Enunciato di *Clausius*

- E' impossibile realizzare una trasformazione termodinamica il cui unico risultato sia il passaggio di calore da un corpo a temperatura inferiore ad uno a temperatura superiore.

*nel caso di un frigorifero c'è bisogno di una lavoro esterno
quindi l'unicità della trasformazione non sussiste e il principio non è violato*

Enunciato di *Kelvin-Planck*

- E' impossibile realizzare una trasformazione ciclica (parametri termodinamici iniziali = finali) il cui unico risultato sia la conversione in lavoro del calore prelevato da una sola sorgente.

- **Macchina termica:**

Macchina termica: è un dispositivo che trasforma l'energia interna in altre forme utili di energia (elettrica ecc.)

Ex.

Energia interna prodotta dalla combustione di calore, viene usata per trasformare dell'acqua in vapore. Il vapore spinge le pale di una turbina mettendole in moto (rotazione). L'energia meccanica associata a questa rotazione viene usata per produrre energia elettrica.

La macchina termica fa compiere lavoro a una qualche sostanza attraverso una trasformazione ciclica.

1) Energia trasferita da un termostato ad alta Temp (T_c).

2) Viene compiuto lavoro dalla macchina

3) Viene ceduta energia dalla macchina ad un termostato a temp più fredda T_f

• Macchina termica:

La macchina termica fa compiere lavoro a una qualche sostanza attraverso una trasformazione ciclica.

- 1) *Energia trasferita da un termostato ad alta Temp (T_c).*
- 2) *Viene compiuto lavoro dalla macchina*
- 3) *Viene ceduta energia dalla macchina ad un termostato a temp più fredda T_f*



Ex.

Macchina a vapore:

- 1) Sostanza che lavora: Acqua

Acqua \rightarrow Vapore (nella caldaia)

Vapore si espande spingendo su un pistone (compie lavoro)

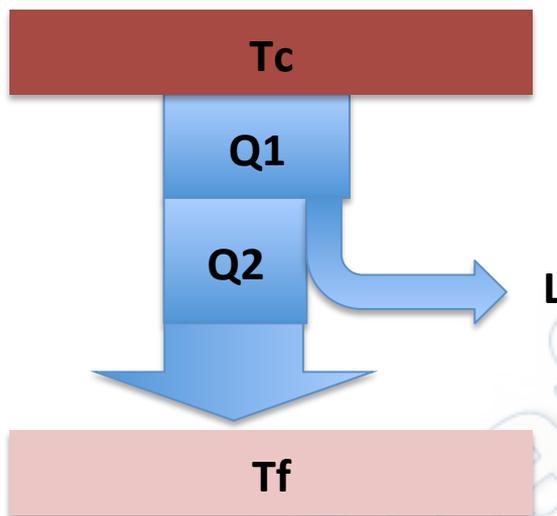
Vapore condensa come acqua fredda e ritorna alla caldaia

\rightarrow ricomincia il ciclo.

- Macchina termica ideale**
Ciclo di Carnot:

Motore ideale → gas perfetto, senza attrito, trasformazioni reversibili
 → limite superiore alle prestazioni di qualunque motore ideale

2 sorgenti, $T_c > T_f$



Def rendimento macchina termica:

$$\eta = \frac{\text{Lavoro Compiuto}}{\text{Calore Assorbito}} = \frac{L}{|Q_c|} = \frac{|Q_c| - |Q_f|}{|Q_c|} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|}$$

Q_c = calore assorbito dalla sorgente calda
 (macchina termica assorbe dalla sorgente calda)

Rendimento macchina Carnot (reversibile):

Si dimostra che:

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{|T_f|}{|T_c|}$$

η sempre < 1 → postulato di Kelvin: impossibilità che l'unico risultato di una trasformazione sia di trasformare tutto il calore in lavoro.

→ Tutta l'energia meccanica può trasformarsi in calore (attrito) mentre il calore non può trasformarsi tutto in lavoro → il calore è una cessione di energia più degradata del lavoro

• Macchina termica ideale

Ciclo di Carnot:

Motore ideale \rightarrow gas perfetto, senza attrito, trasformazioni reversibili
 \rightarrow limite superiore alle prestazioni di qualunque motore ideale

Rendimento macchina Carnot (reversibile):

$$\eta = 1 - \frac{|T_f|}{|T_c|}$$

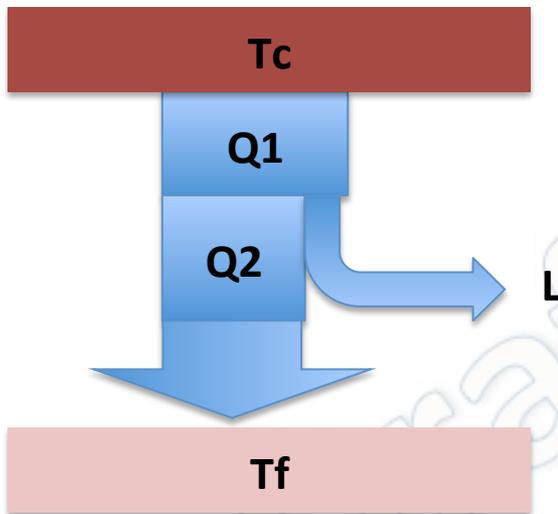
Macchina termica **reale** funzionante tra due temperature (irreversibile)

$$\eta_{reale} \leq \eta_{carnot}$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|} \leq 1 - \frac{|T_f|}{|T_c|}$$

l'uguaglianza vale se la macchina considerata è reversibile

2 sorgenti, $T_c > T_f$



Per le macchine termiche reali e quindi irreversibili, la quantità di calore estratta dalla sorgente più calda non è tutta convertita in lavoro perché una parte di calore viene disperso altrove (ambiente, ecc..)

- **Macchina termica ideale**
Ciclo di Carnot:

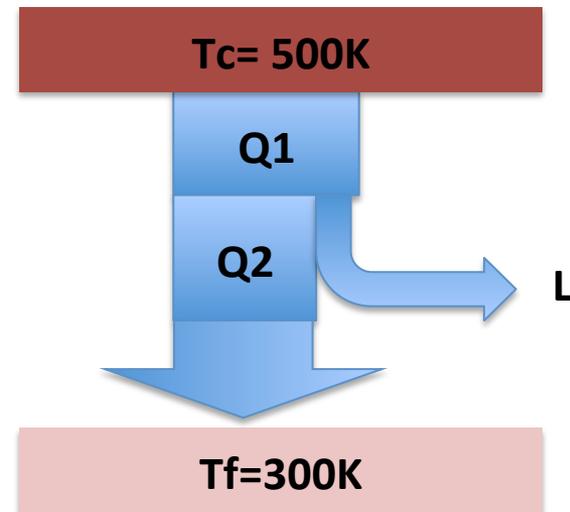
Esempio:

Macchina a vapore con bollitore a 500K. L'energia estratta dalla combustione del carburante trasforma l'acqua in vapore e il vapore spinge il pistone (quindi compie lavoro utile). La temperatura di scarico è quella dell'aria esterna $T=300\text{K}$.

Rendimento Carnot ? (cioè quello massimo...)

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{|T_f|}{|T_c|} = 1 - \frac{300}{500} = 40\%$$

In realtà il rendimento massimo è minore del 40% (rendimento di Carnot)



• Entropia

$$1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|} \leq 1 - \frac{|T_f|}{|T_c|}$$

$\Rightarrow \frac{Q_f}{T_f} - \frac{Q_c}{T_c} \leq 0$ valida per qualunque tipo di ciclo. L'uguaglianza vale se reversibile

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

valida per una trasf ciclica qualsiasi ma

uguaglianza valida se trasformazione reversibile

$$\int_{A_{\text{reversibile}}}^B \frac{\delta Q}{T} = S(B) - S(A)$$

La funzione S così definita per un ciclo **reversibile** si chiama Entropia ed è una funzione di stato cioè dipende solo dallo stato iniziale e finale del sistema e non dalla trasformazione

• Entropia

Consideriamo una trasformazione ciclica che avviene in modo irreversibile dallo stato A allo stato B e poi in modo reversibile dallo stato B allo stato A.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

$$\int_A^B \frac{\delta Q_{irreversibile}}{T} + \int_B^A \frac{\delta Q_{reversibile}}{T} < 0$$

$$\Rightarrow \int_A^B \frac{\delta Q_{irreversibile}}{T} < - \int_B^A \frac{\delta Q_{reversibile}}{T} = -[S(A) - S(B)]$$

$$\Rightarrow \int_A^B \frac{\delta Q_{irreversibile}}{T} < S(B) - S(A)$$

L'integrale di dQ/T calcolato lungo una trasformazione tra due stati è massimo se questa trasformazione è reversibile.

Se il sistema non scambia calore con l'esterno, $dQ=0$ e quindi: $S(B) - S(A) \geq 0$ e cioè $S(B) \geq S(A)$

Per una trasformazione di un sist. Termicamente isolato, l'entropia non varia nel caso in cui la trasformazione sia reversibile, mentre aumenta se è irreversibile.

Quindi l'entropia di un sistema isolato non diminuisce.

• Trasmissione del calore

Conduzione: trasmissione di calore per contatto. In apparenza non c'è alcun visibile movimento di materia. Ex. Una parete separa due ambiente mantenuti a T_1 e T_2 con $T_1 > T_2$. Nel caso stazionario la temperatura all'interno della parete varia linearmente con lo spessore (più alta vicino l'ambiente più caldo e più bassa vicino l'ambiente più freddo). In situazione stazionaria c'è un flusso continuo di energia interna dovuto al moto di agitazione termica.

$$Q = k \frac{T_2 - T_1}{L} S \Delta t$$

k : conducibilità termica del materiale

S : superficie

L : spessore

• Trasmissione del calore

Irraggiamento: trasporto di calore tramite le onde elettromagnetiche (luce visibile, infrarossa, raggi X ecc)

Il calore del sole arriva a noi per irraggiamento.

Un corpo a temperatura assoluta T emette ogni secondo e per ogni metro quadro di superficie una quantità di calore:

$$Q = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

Dove:

$0 < e < 1$ è una costante che caratterizza la superficie del corpo: Coeff. Di Emissività. Un corpo nero ha $e = 1$.

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ costante di Boltzmann

Corpo nero: assorbe tutta la radiazione elettromagnetica (e.m.) incidente.

In equilibrio termico, emette radiazione e.m. e lo spettro di emissione (le varie lunghezze d'onda (colori)) dipendono solo dalla temperatura

• Trasmissione del calore

Convezione: trasporto di calore tra corpi mediato dal trasporto di materia.

La densità dei corpi solitamente diminuisce all'aumentare della temperatura.

→ Nel mare, gli strati superficiali sono raffreddati (dal vento) quindi la loro densità aumenta e per il principio di Archimede affondano mentre gli strati più bassi salgono. → del calore viene portato dal fondo verso la superficie.
→ l'acqua si mescola e l'ossigeno viene ridistribuito (importantissimo per la vita acquatica) !!

→ In generale la Convezione è più efficace della Conduzione.

• Perdita di calore per evaporazione

Evaporazione: un grammo d'acqua che evapora corrisponde a 580 cal. Durante il processo respirazione, dell'acqua evapora dai polmoni (la superficie dei polmoni è bagnata) e viene espulsa durante l'espirazione. Per ogni grammo di acqua espulso il corpo perde 580cal indipendentemente dalla temperatura esterna.

→ importante bere quando fa caldo