

Fisica

Leonello Servoli

Leonello.servoli@pg.infn.it

Tel.: 0039-348-3345847

<http://www.fisica.unipg.it/~servoli>

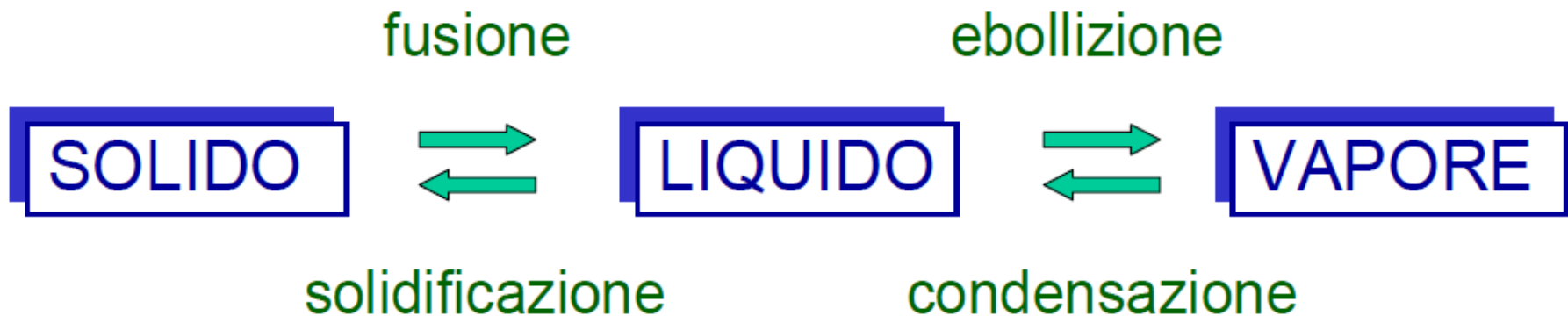
Orario

21 ottobre	15-18	3
23 ottobre	15-18	4
27 ottobre	15-18	5
30 ottobre	15-18	6
10 novembre	15-18	7
13 novembre	15-18	8
17 novembre	15-18	9
24 novembre	15-18	10

CAMBIAMENTI DI STATO

Il cambiamento di stato avviene ad una definita temperatura che dipende dalla sostanza e dalla pressione esterna

Il cambiamento di stato avviene isotermicamente ed è accompagnato da uno scambio di calore, legato alle variazioni dell'energia chimica di legame



CAMBIAMENTI DI STATO

Si definisce calore latente L la quantità di calore necessaria per far compiere *isotermicamente* all'unità di massa della sostanza un passaggio di stato

Calore necessario per il passaggio di stato di una massa m di quella sostanza

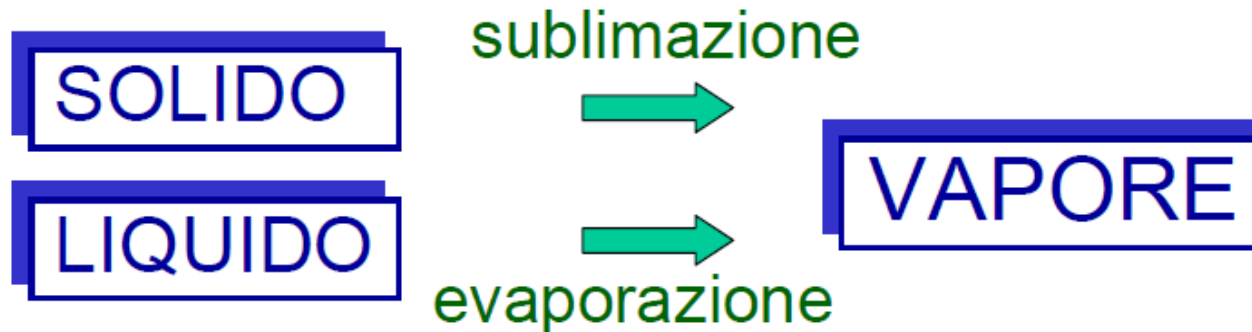
$$Q = m \cdot L$$

Per il passaggio di stato ghiaccio-acqua alla pressione atmosferica

$$L = 80 \frac{kcal}{kg} = 80 \frac{cal}{g}$$

CAMBIAMENTI DI STATO

Cambiamenti di stato che avvengono a tutte le temperature ed i rispettivi calori latenti dipendono dalla temperatura

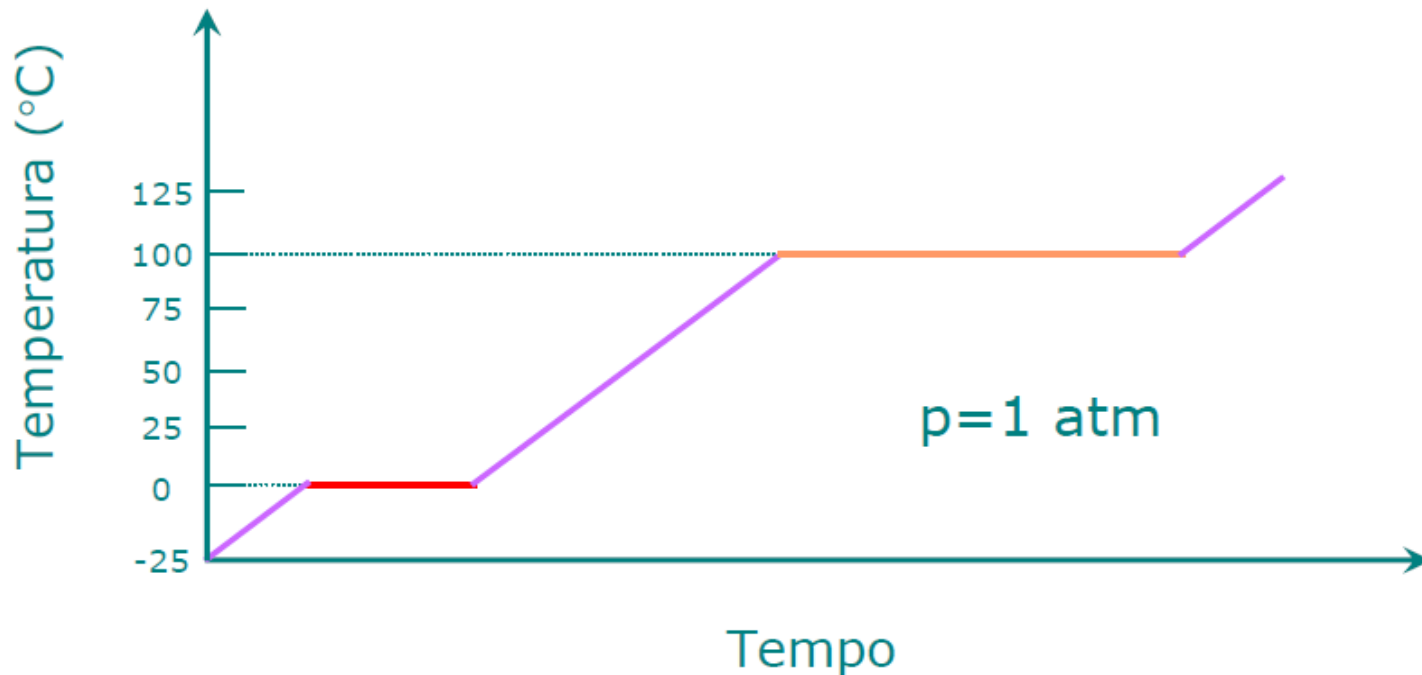


L'evaporazione avviene sino a quando l'ambiente non raggiunge la saturazione, cioè non può contenere altre molecole di quel liquido (vapore saturo)

La pressione o tensione di vapore saturo è caratteristica della sostanza ed è funzione crescente della temperatura

CAMBIAMENTI DI STATO

Temperatura di un campione di acqua in funzione del tempo quando viene somministrato un flusso costante di calore a pressione costante (1 atm).



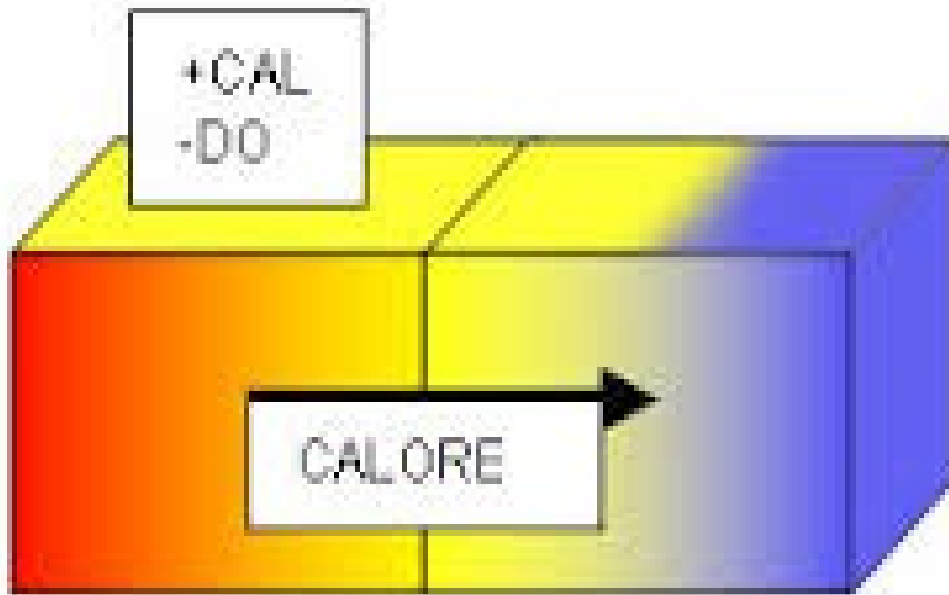
PROPAGAZIONE DEL CALORE

Il calore si propaga per

- ◆ conduzione (nei solidi senza movimento di materia)
- ◆ convezione (nei fluidi con movimento di materia)
- ◆ irraggiamento (per onde elettromagnetiche)



PROPAGAZIONE DEL CALORE



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k \text{ Area} \frac{T_1 - T_2}{\text{lunghezza}}$$

CONDUZIONE:

Trasporto di energia **senza** trasporto di Materia.

Ossia:

trasmissione attraverso l'energia cinetica a livello microscopico →

aumento di temperatura

k = conduttività termica.

Vetro = 0.84; Aria = 0.023

PROPAGAZIONE DEL CALORE



Strato isolante:

**Bassa conducibilità termica.
Uno spessore adeguato.**

Intercapedini edifici;

Finestre con doppi vetri;

**Indumenti con piuma d'oca
o strato d'aria;**

Thermos;

PROPAGAZIONE DEL CALORE



CONVEZIONE:

Trasporto di energia **con**
trasporto di Materia.

Ossia:

Incremento di energia
cinetica a livello microscopico
→ aumento della mobilità
media delle singole particelle

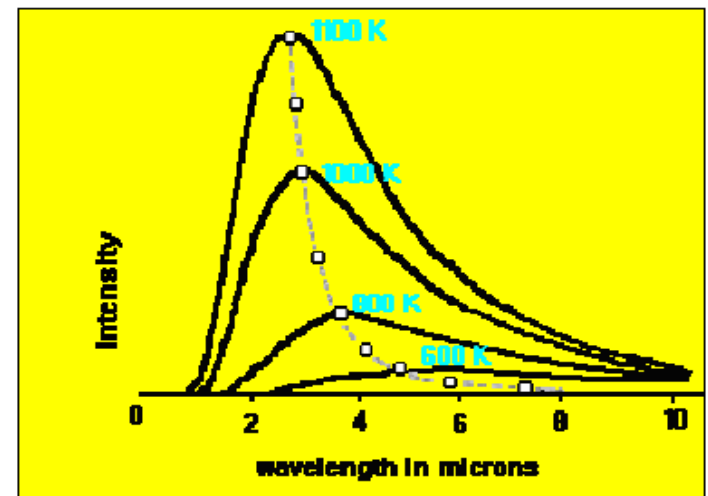
PROPAGAZIONE DEL CALORE

Il calore si propaga per

- ◆ conduzione (nei solidi senza movimento di materia)
- ◆ convezione (nei fluidi con movimento di materia)
- ◆ irraggiamento (per onde elettromagnetiche)

La temperatura della pelle varia da punto a punto e sensibili variazioni di temperatura hanno luogo quando esiste qualche anomalia circolatoria o cellulare.

Su questo principio si basa la *termografia*, in grado di rivelare variazioni di $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



TERMOREGOLAZIONE

La sorgente del calore corporeo è il metabolismo degli alimenti.

Un uomo di 70 kg in condizioni di riposo produce circa 70 kcal/h; durante un esercizio fisico la produzione di calore può essere anche 20 volte maggiore

La temperatura del corpo è rilevata da alcuni neuroni dell'ipotalamo, che sono sensibili alla temperatura del sangue circostante ed attivano alcuni meccanismi per mantenere affinché la temperatura rimanga costantemente uguale a 37 °C.

TERMOREGOLAZIONE

I meccanismi di termoregolazione possono favorire la cessione del calore (vasodilatazione, sudorazione, ...), ridurre (vasocostrizione) o produrre calore (brivido, ...).

L'equilibrio si raggiunge quando: $H_m = H_c + H_i + H_t + H_e$

H_m : calore prodotto dal metabolismo

H_c : calore dissipato per convezione

H_i : calore dissipato per irraggiamento

H_t : calore dissipato per traspirazione del sudore

H_e : calore dissipato per evaporazione polmonare

METABOLISMO DEL CORPO UMANO

L'energia utilizzata dall'organismo umano, per il suo funzionamento e per compiere una certa attività, è fornita dagli alimenti.

Ad esempio: esoso (glucide monosaccaride)



alla pressione di 1 atm occorrono 134.4 litri di ossigeno per liberare 666 kcal.

Contenuto energetico
del glucosio:

$$\frac{666 \text{ kcal}}{180 \text{ g}} = 3.7 \frac{\text{kcal}}{\text{g}}$$

Valore calorico
dell'ossigeno:

$$\frac{666 \text{ kcal}}{134.4 \text{ litri}} \cong 5 \frac{\text{kcal}}{\text{litro}}$$

METABOLISMO DEL CORPO UMANO

Misurando il consumo d'ossigeno è possibile calcolare la variazione di energia interna all'interno dell'organismo.

Metabolismo basale: consumo di energia per kg di peso corporeo e per secondo in condizioni di riposo.
In media i valori sono:

$$1.2 \frac{W}{kg} \quad \text{per gli uomini} \quad 1.1 \frac{W}{kg} \quad \text{per le donne}$$

METABOLISMO DEL CORPO UMANO

Valori approssimati delle potenze metaboliche per unità di massa relative ad un uomo di 20 anni durante lo svolgimento di varie attività in W/kg

Dormire	1.1
Giacere sveglio	1.2
Sedere eretto	1.5
Stare in piedi	2.6
Camminare	4.3
Rabbrividire	7.6

Pedalare	7.6
Spalare	9.2
Nuotare	11.0
Spostare mobili	11.0
Sciare	15.0
Correre	18.0

METABOLISMO DEL CORPO UMANO

Il calore prodotto viene solo in parte trasformato in lavoro. Il resto viene eliminato tramite i meccanismi di termoregolazione

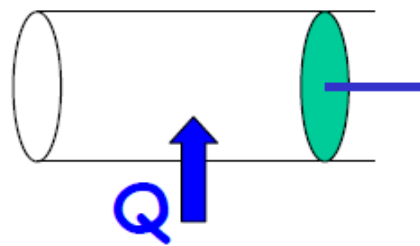
Efficienza con cui l'organismo utilizza l'energia chimica degli alimenti per compiere lavoro

$$\text{efficienza} = \frac{\frac{L}{t}}{\frac{\Delta U}{t} - \frac{\Delta U_b}{t}}$$

Spalare	3%
Sollevarre pesi	9%
Salire una scala	23%
Pedalare	25%
Camminare in salita	30%

PRIMO PRINCIPIO TERMODINAMICA (1)

Consideriamo alcuni dati sperimentali:



Pistone
fermo



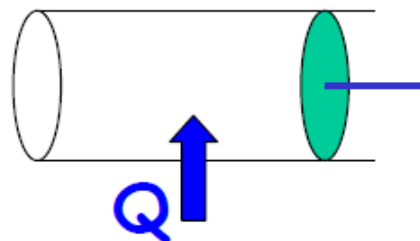
Aumenta l'energia
interna



Pareti isolanti

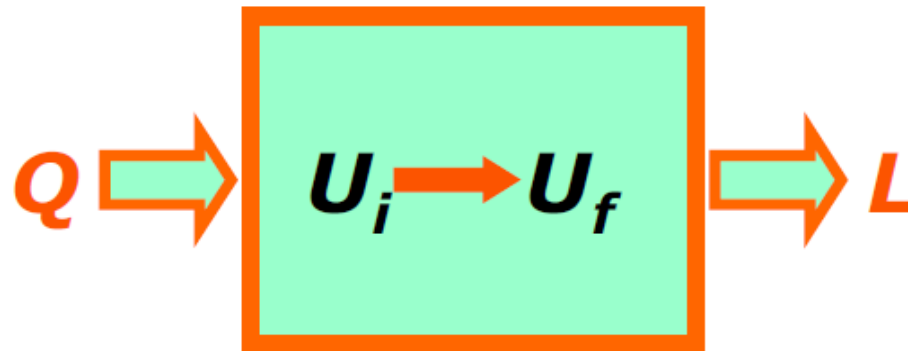


Il lavoro è eguale
all'aumento della
energia interna



Il pistone si
muove verso
l'esterno

PRIMO PRINCIPIO TERMODINAMICA (2)



$$L = Q - \Delta U$$

Q è positivo se CEDUTO AL SISTEMA

L è positivo se FATTO DAL SISTEMA

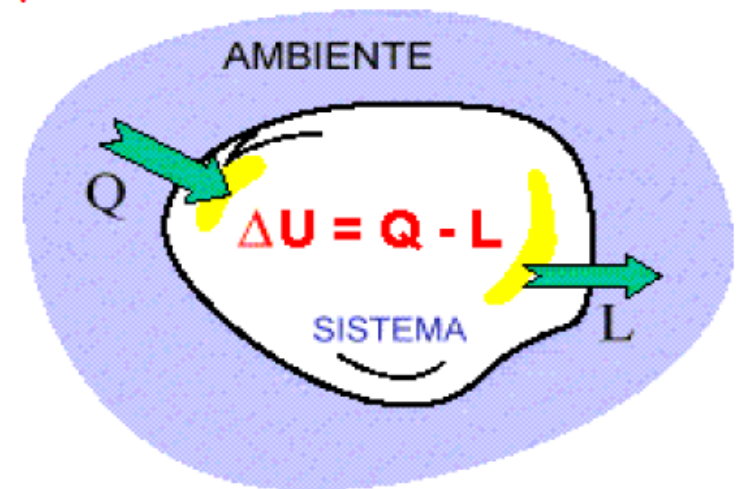
PRIMO PRINCIPIO TERMODINAMICA(3)

Il primo principio della termodinamica fornisce una precisa definizione del calore identificandolo come una forma di energia che può essere convertita in lavoro meccanico ed essere immagazzinata sotto forma di energia interna.

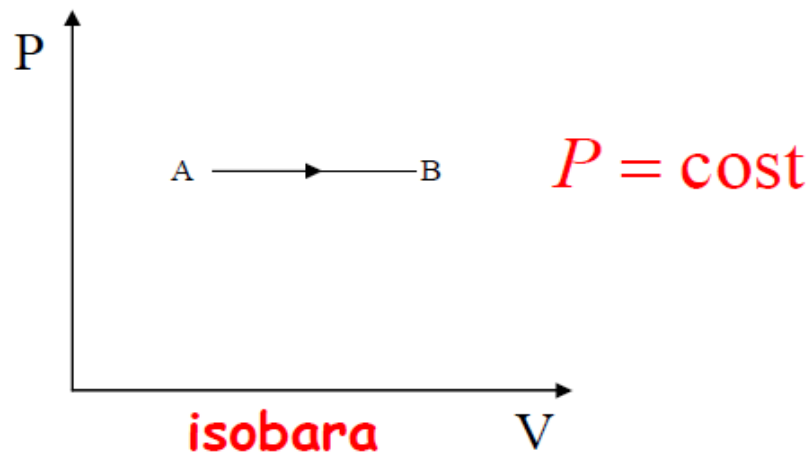
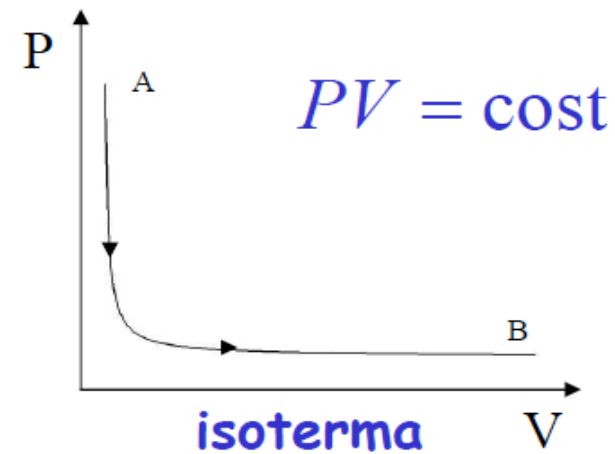
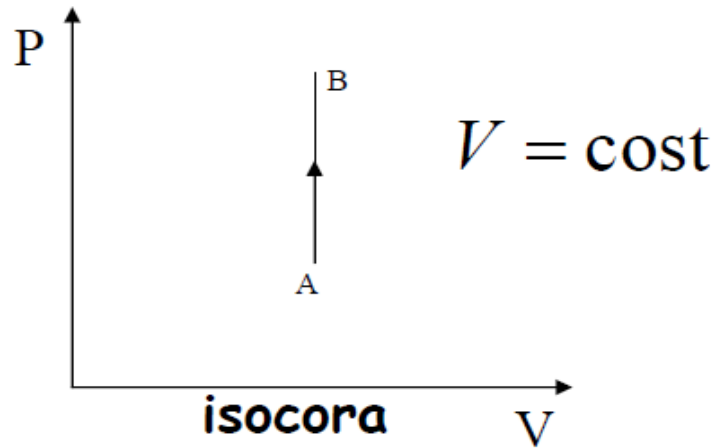
Il primo principio è dunque un principio di conservazione dell'energia. Esso afferma che, poiché l'energia non può essere né creata né distrutta, la somma della quantità di calore ceduta a un sistema e del lavoro compiuto sul medesimo deve essere uguale all'aumento dell'energia interna del sistema stesso.

Calore e lavoro sono i mezzi attraverso i quali i sistemi si scambiano energia.

$$\Delta U = Q - L$$



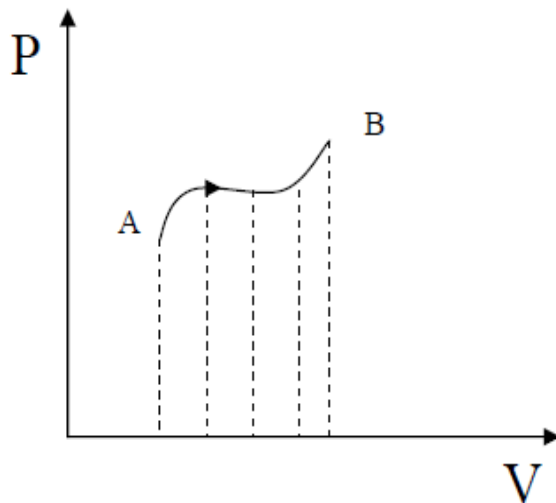
TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE (3)



TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE (4)

Poiché il lavoro nel caso della pressione può essere scritto come

$$L = \int_A^B P dV$$



esso è nel piano P-V l'area sottesa dalla curva che rappresenta la trasformazione

CALORI SPECIFICI E GAS PERFETTI

Il calore specifico di solidi e liquidi viene dato con un unico valore:

Alluminio: 900 J/kg C°

Rame: 390 J/kg C°

Legno: 1700 J/kg C°

Nei gas il volume può cambiare molto, mentre nei solidi e liquidi Pochissimo.

Quindi per i gas invece si danno DUE valori a seconda che il calore venga fornito a **Volume Costante** o a **Pressione Costante**:

Ossigeno: 0.218 0.155

Elio: 1.15 0.75

Azoto: 0.248 0.177

CALORI SPECIFICI E GAS PERFETTI

Quantità di calore che bisogna fornire ad una mole di gas perfetto per far aumentare la sua temperatura di un grado.

$$L = Q - \Delta U$$

$$L = 0 \Rightarrow Q = \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

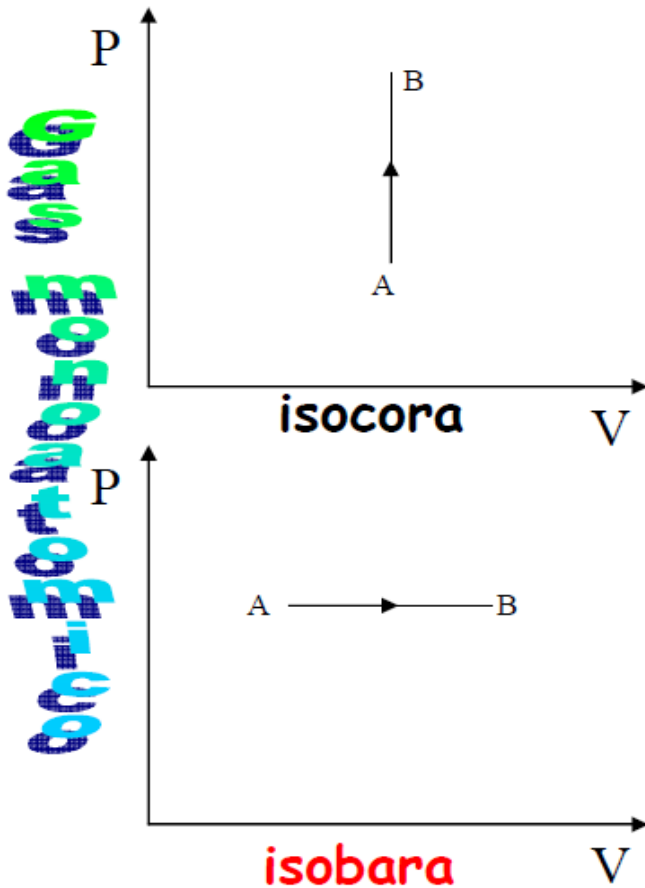
$$C_V = \frac{3}{2}R$$

$$L = Q - \Delta U$$

$$L = P\Delta V \text{ e } PV = nRT \Rightarrow L = nR\Delta T$$

$$Q = L + \Delta U = nR\Delta T + \frac{3}{2}nR\Delta T$$

$$C_P = R + \frac{3}{2}R = R + C_V$$



ΔU per trasformazioni isoterme

$$\Delta U = nC_V\Delta T \quad \Delta T = 0$$

$$\Delta U = 0$$

L per trasformazioni **isocore**

$$L = \int_{V_{Iniziale}}^{V_{Finale}} P dV \quad \Delta V = 0$$

$$L = 0$$

L per trasformazioni isobare

$$L = \int_{V_{Iniziale}}^{V_{Finale}} P dV \quad P = \text{costante}$$

$$L = P \int_{V_{Iniziale}}^{V_{Finale}} dV = P(V_{Finale} - V_{Iniziale}) = P\Delta V$$

Q per trasformazioni isobare

$$L = P\Delta V \quad \Delta U = nC_V\Delta T \quad PV = nRT$$

$$Q = L + \Delta U = nR\Delta T + nC_V\Delta T =$$

$$= (R + C_V)n\Delta T = nC_P\Delta T$$

TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE

TRASFORMAZIONE	L	Q	ΔU
ISOCORA ($V = \text{costante}$)	0 Calc	$nC_V\Delta T$	$nC_V\Delta T$
ISOBARA ($P = \text{costante}$)	$P\Delta V$ Calc	$nC_P\Delta T$ Calc	$nC_V\Delta T$
ISOTERMA ($T = \text{costante}$)	$nRT \ln\left(\frac{V_{finale}}{V_{iniziale}}\right)$ Calc	$nRT \ln\left(\frac{V_{finale}}{V_{iniziale}}\right)$	0 Calc

$$L = Q - \Delta U$$

L per trasformazioni isoterme

$$L = \int_{V_{Iniziale}}^{V_{Finale}} P dV \quad PV = nRT = \text{costante}$$

$$L = \int_{V_{Iniziale}}^{V_{Finale}} P dV = \int_{V_{Iniziale}}^{V_{Finale}} \frac{nRT}{V} dV =$$

$$= nRT \int_{V_{Iniziale}}^{V_{Finale}} \frac{1}{V} dV = nRT [\ln(V_{Finale}) - \ln(V_{Iniziale})] =$$

$$= nRT \ln \left(\frac{V_{Finale}}{V_{Iniziale}} \right)$$

ESERCIZIO

Consideriamo una massa m di acqua liquida che bolle, a pressione atmosferica P , trasformandosi completamente in vapore. Indicando con C il calore latente di ebollizione e sapendo che il volume passa da $V_{iniziale}$ a V_{finale} calcolare:

- il lavoro L compiuto;
- il calore Q scambiato;
- la variazione ΔU di energia interna.

Per il lavoro L possiamo scrivere
$$L = \int_{V_{iniziale}}^{V_{finale}} P dV$$

e poiché la pressione è costante, avremo

$$L = \int_{V_{iniziale}}^{V_{finale}} P dV = P \int_{V_{iniziale}}^{V_{finale}} dV = P(V_{finale} - V_{iniziale})$$

come si vede il lavoro è positivo e quindi fatto dal sistema sull'ambiente

ESERCIZIO cont..

Per il calore scambiato Q , poichè siamo in presenza di una trasformazione di stato, possiamo scrivere

$$Q = Cm$$

come si vede il calore è positivo, cioè è assorbito dal sistema.

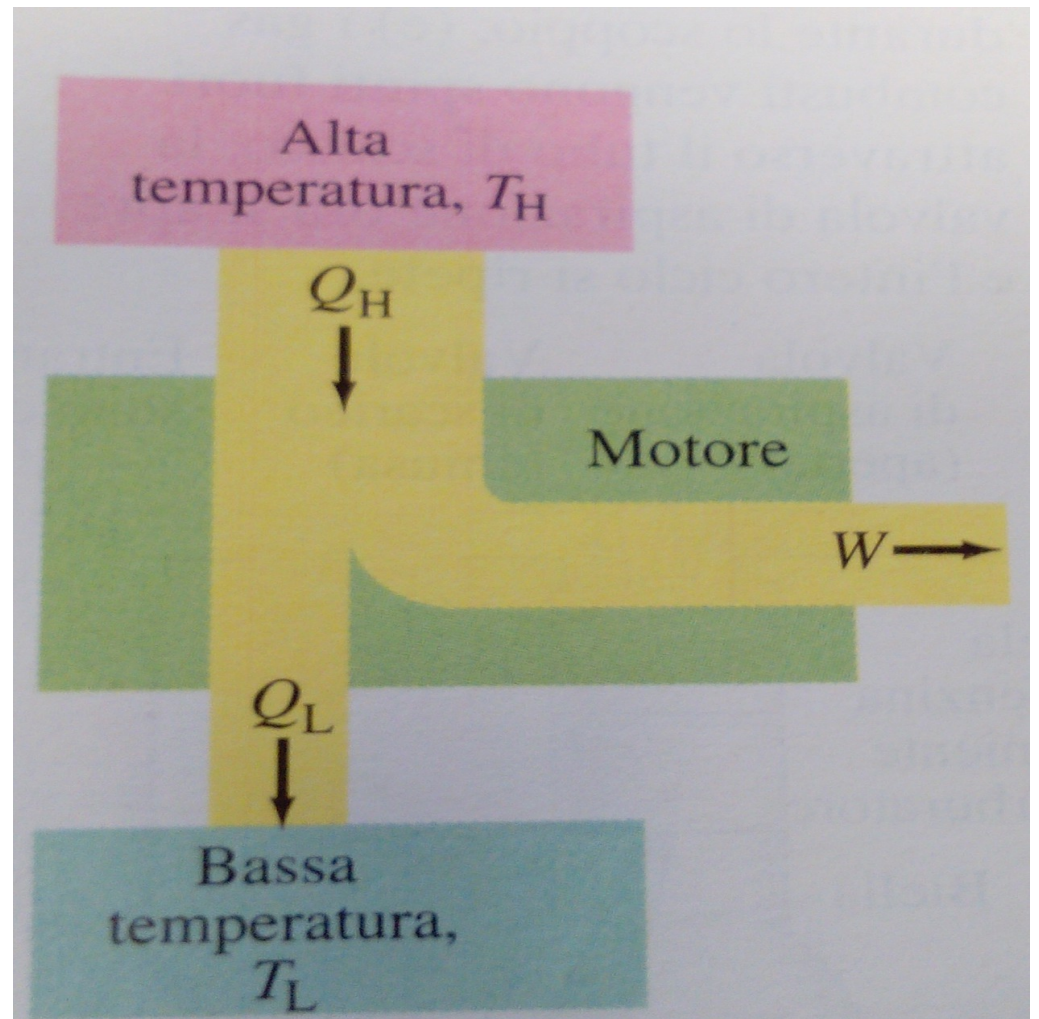
Per la variazione di energia interna ΔU possiamo usare il Primo Principio della Termodinamica e quindi avremo

$$\Delta U = Q - L = Cm - P(V_{finale} - V_{iniziale})$$

SECONDO PRINCIPIO TERMODINAMICA

Una macchina termica è un sistema per convertire energia termica (calore) in energia meccanica.

Calore che passa da una sorgente ad alta temperatura ad una a bassa temperatura.



SECONDO PRINCIPIO TERMODINAMICA(1)

Il Primo Principio della Termodinamica dice che non è possibile ottenere lavoro utile da una macchina termica alla quale non venga fornita energia.

$$\Delta U = 0$$

$$L = Q$$

Una macchina termica deve essere basata su di un ciclo termodinamico



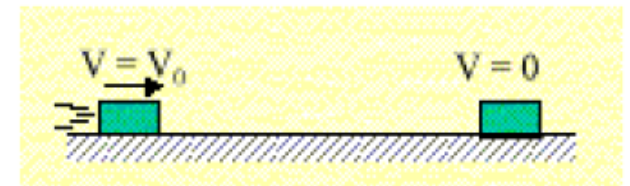
Alla fine del ciclo lo stato del sistema deve essere quello iniziale

$$\text{Se } Q = 0 \Rightarrow L = 0$$

SECONDO PRINCIPIO TERMODINAMICA(2)

Il **primo principio della termodinamica** non pone alcun limite alla conversione del lavoro in calore e viceversa. In un processo termodinamico è possibile avere come risultato la conversione del lavoro in calore come anche del calore in lavoro (conservazione dell'energia). È possibile convertire lavoro in calore senza alterare lo stato termodinamico del sistema, come ad esempio:

Sistema = blocco che scivola su un piano con attrito;



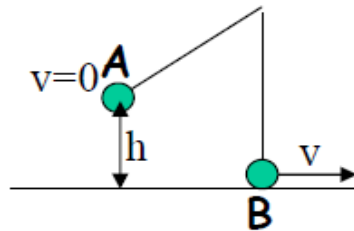
riserva di calore = aria

Il lavoro della forza di attrito aumenta l'energia interna del blocco e del piano di scorrimento. Si sviluppa un flusso di calore da essi verso l'aria dell'ambiente. Il sistema blocco-piano di scorrimento ritornano nello stato termodinamico iniziale.

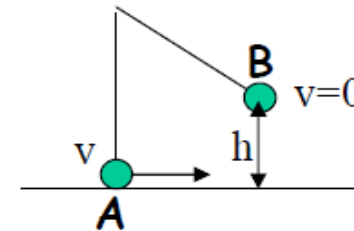
SECONDO PRINCIPIO TERMODINAMICA(3)

Si osservano fenomeni nei quali l'energia potenziale diventa tutta cinetica

$$E_{\text{potenziale}} \Rightarrow E_{\text{cinetica}}$$



$$E_{\text{cinetica}} \Rightarrow E_{\text{potenziale}}$$



Si osservano fenomeni nei quali un corpo freddo, che si muove con velocità v , si ferma per attrito aumentando la propria temperatura

$$L \Rightarrow Q$$



Non si osservano fenomeni nei quali un corpo caldo fermo, si raffredda ed inizia a muoversi con velocità v

$$Q \Rightarrow L$$



SECONDO PRINCIPIO TERMODINAMICA(4)

William Thompson (1824-1907), più noto come **Lord Kelvin** utilizzando i lavori di **Joule** e **Sadi Carnot (1796-1832)** formula il

II Principio della Termodinamica

Questo principio ha
quattro
diverse formulazioni (tutte equivalenti)

SECONDO PRINCIPIO TERMODINAMICA(5)

La formulazione di Kelvin:

è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasformare in lavoro tutto il calore estratto da una sola sorgente a temperatura costante (termostato).

ESPANSIONE ISOTERMA: $\Delta U=0 \rightarrow L=Q$

**Il gas si è espanso e
quindi ha cambiato stato!**

SECONDO PRINCIPIO TERMODINAMICA(6)

La formulazione di Clausius:

è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di far passare il calore da una sorgente più fredda ad una più calda.

FRIGORIFERO: gas compresso si espande sottraendo calore dai corpi contenuti nella macchina.

**Il gas si è espanso e
quindi ha cambiato stato!**

DEFINIZIONE TERMODINAMICA DELL'ENTROPIA (1)

Il secondo principio definisce una nuova *funzione di stato*:
l'**entropia**.

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad [S] = J \text{ } ^\circ K^{-1}$$

Il segno di eguaglianza vale per trasformazioni REVERSIBILI.

$$\Delta S_{AB} = S_B - S_A = \int_A^B \frac{\delta Q}{T} \leftarrow \text{reversibile}$$

L'entropia è una variabile di stato e dipende sola da A e B.

Se il sistema è isolato termicamente ($Q=0$, *trasformazione adiabatica*) allora

$$\Delta S \geq 0$$

l'entropia di un sistema isolato non può diminuire.

DEFINIZIONE TERMODINAMICA DELL'ENTROPIA (2)

Limitiamoci al caso reversibile: per la variazione di entropia abbiamo

$$\Delta S_{AB} = \int_A^B \frac{\delta Q}{T}$$

Dal Primo Principio della Termodinamica in forma differenziale possiamo scrivere

$$\delta Q = PdV + c_V dT = RT \frac{dV}{V} + c_V dT$$

e quindi, in generale, per la variazione di entropia ΔS_{AB} avremo

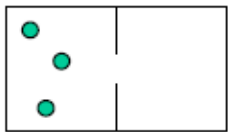
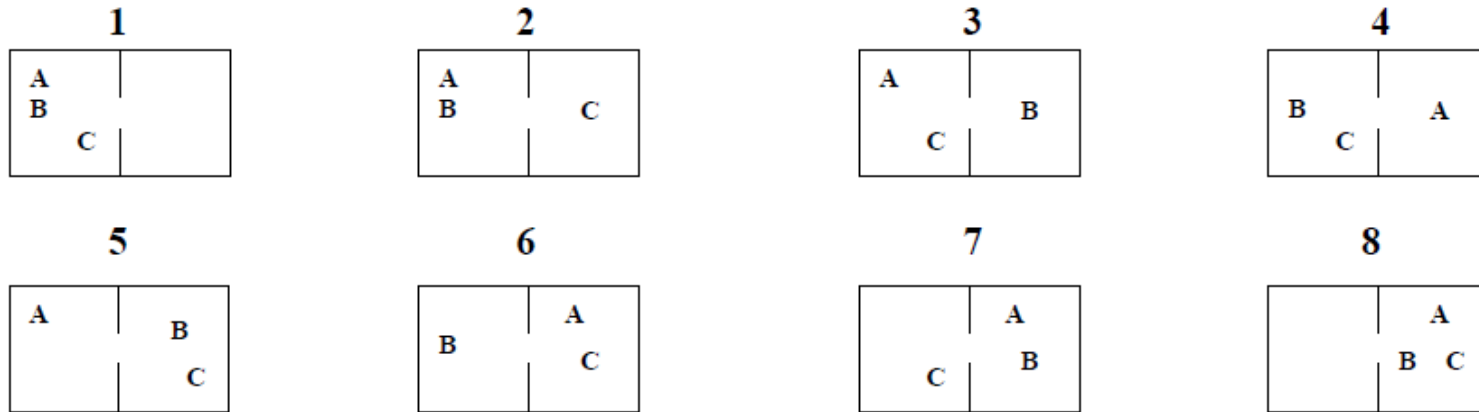
$$\Delta S_{AB} = R \int_{V_A}^{V_B} \frac{dV}{V} + c_V \int_{T_A}^{T_B} \frac{dT}{T}$$

DEFINIZIONE STATISTICA DELL'ENTROPIA(1)

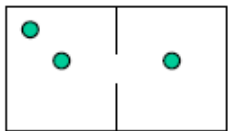
Un macrostato di un sistema termodinamico è definito da P , V e T , ma ad ogni macrostato possono corrispondere più microstati.

Si definisce *grado di disordine* di uno stato termodinamico il numero W di microstati ad esso corrispondenti.

ESEMPIO



→ solo 1 quindi $P=1/8$ $W=1$



→ 2,3 e 4 quindi $P=3/8$ $W=3$

Lo stato termodinamico più probabile è quello con grado di disordine W maggiore.

DEFINIZIONE STATISTICA DELL'ENTROPIA(2)

La probabilità di realizzazione di un sistema termodinamico è

$$P(W) = \frac{W}{W_0}$$

dove W_0 sono tutti i possibili stati microscopici.

Si definisce entropia del sistema

$$S = K \ln \left(\frac{W}{W_0} \right) = K \ln P(W)$$

ENTROPIA

L'entropia si può pensare come la misura di quanto un sistema sia vicino allo stato di equilibrio, o in modo equivalente come la **misura della probabilità di realizzazione di un sistema.**

Il secondo principio afferma che l'entropia di un sistema isolato non può diminuire. Pertanto, quando un sistema isolato raggiunge una configurazione di massima entropia non può subire trasformazioni: ha raggiunto l'equilibrio.