

# Lez 14 171115

# Equazione di Continuità

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

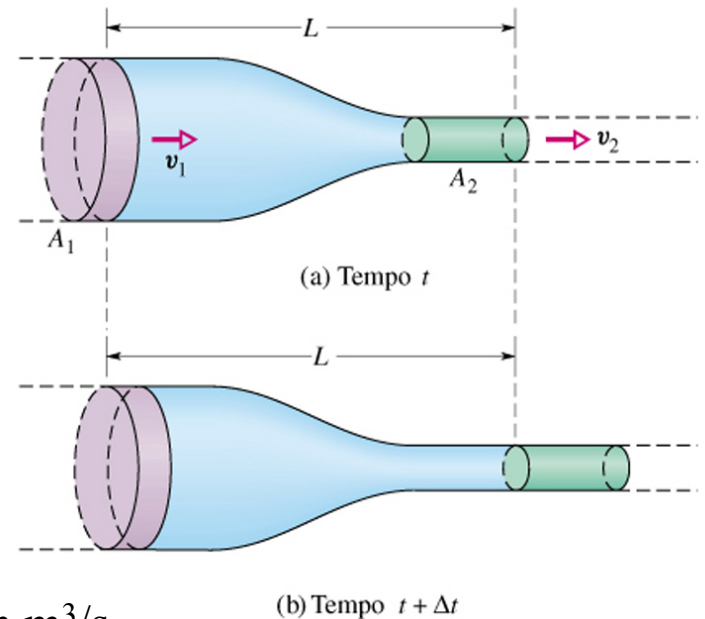
Il termine  $Q_m = \rho A v$  e' la portata in massa. Si misura in Kg/s che attraversano una qualsiasi sezione del flusso

Se il liquido è incompressibile (cioè la densità è costante  $\rho_1 = \rho_2$ )

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Il termine  $Q_v = A v$  e' la portata in volume. Si misura in m<sup>3</sup>/s

Questa è l'equazione di continuità per il flusso di fluidi: dove A aumenta, v diminuisce e viceversa



# Energia di un fluido ed equazione di Bernoulli

$$p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \rho g y_2 = p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} + \rho g y_1$$

Tutti i termini hanno le unita' di misura di una densita' di energia, cioe'  $E/L^3$ .

Se moltiplico tutti i termini per il volume  $V$  del corpo ottengo

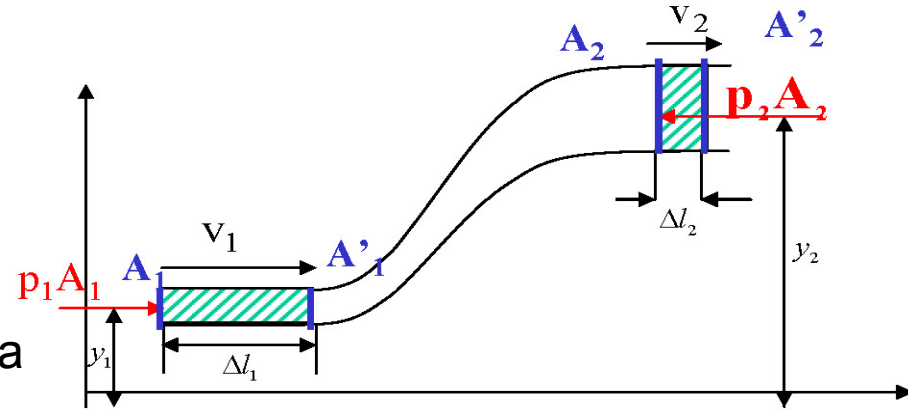
$$pV + \frac{1}{2}\rho V v^2 + \rho V g h = \text{costante}$$

ma  $\rho V = m \rightarrow$  l'equ. diventa

$$pV + \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{costante}$$

Il I e II termine sono l'energia cinetica e potenziale gravitazionale del corpo. Il I termine rappresenta energia, cioe' capacita' di compiere lavoro, associata alla pressione nel fluido.

NON e' ne' cinetica ne' potenziale, ma costituisce energia immagazzinata nel sistema in virtu' della pressione che c'e' in esso ed e' detta **energia interna**. Per capire bene cosa sia, occorre sviluppare i concetti della termodinamica



# Torniamo ora alla termodinamica

# Termodinamica: definizione

- Studia il **bilancio energetico** di sistemi fisici nel modo più generale, compresi scambi di energia non meccanici (**calore**)
- La termodinamica è quella parte della fisica che studia il comportamento di sistemi complessi composti, da un punto di vista microscopico, da un numero molto elevato di **particelle**, utilizzando poche grandezze fisiche macroscopiche complessive del sistema (termodinamico) stesso, come volume, pressione, densità, temperatura,...).

# La Termodinamica (3)

Esperienze come quelle del ghiaccio che fonde o del pallone che si solleva suggeriscono che i processi dipendano dallo stato "termico" del corpo, distinto da quello meccanico.

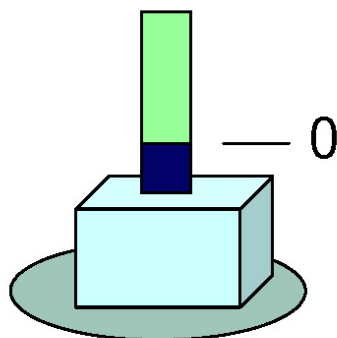
Lo stato termico del corpo e' misurato da una nuova grandezza fisica, la temperatura.

I concetti di stato termico e temperatura sono suggeriti anche dalle sensazioni che si provano nel toccare corpi in diversi stati termici (provate a toccare un pezzo di ferro incandescente o lo stesso pezzo immerso in un bagno di azoto liquido...), le quali vanno rese oggettive mediante l'uso di appositi strumenti

# Misuriamo la Temperatura

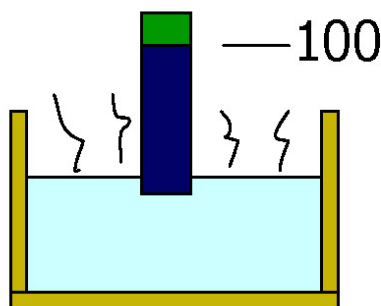
- Possiamo usare un corpo (sostanza termometrica) e mettere in relazione la variazione di una grandezza fisica (proprietà termometrica) con la variazione di dello stato termico di un corpo e costruire uno strumento (**termoscopio**) per misurare lo stato termico del corpo
- Diremo che due corpi o sistemi si trovano nello stesso stato termico, cioè hanno la stessa temperatura, se posti successivamente a contatto con il termoscopio, la grandezza termometrica assume lo stesso valore per ciascuno di essi (p. es lo stesso allungamento di una sbarra metallica, la stessa dilatazione di un volume di mercurio,...)

■ Mettiamo a contatto il termometro a mercurio con un cubetto di ghiaccio che sta fondendo:



All'altezza raggiunta dal mercurio nel tubicino si fa corrispondere la temperatura di  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

■ Mettiamo ora a contatto il termometro con l'acqua che sta bollendo:



All'altezza raggiunta dal mercurio nel tubicino si fa corrispondere la temperatura di  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Si divide ora la distanza tra  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  in 100 parti uguali, in modo tale che il grado Celsius (centigrado) corrisponda alla centesima parte della differenza di temperatura tra il ghiaccio che fonde e l'acqua che bolle.
- Problema: l'acqua non bolle sempre alla stessa temperatura, ma dipende dalla pressione atmosferica.

# Taratura del termoscopio: scala Celsius

# Il Calore ed energia

- ❑ La temperatura di un corpo cambia come risultato dello scambio di calore con l'ambiente esterno
- ❑ La variazione è dovuta allo **scambio di energia di natura non meccanica** tra il sistema e l'ambiente esterno.
- ❑ Questa energia è **energia interna del sistema**, dovuta alla somma delle energie cinetiche e potenziali associate ai moti delle particelle fondamentali (molecole, atomi) che costituiscono il corpo macroscopico
- ❑ L'energia interna scambiata da un sistema all'altro a causa delle differenze di temperatura fra l'ambiente e il sistema prende il nome di calore, mentre quella scambiata senza che siano implicate differenze di  $T$  è chiamata lavoro (per esempio se comprimo un gas con un pistone devo fare lavoro meccanico)

# Termodinamica

- A questo punto si chiarisce meglio il significato della definizione data
- Studia il **bilancio energetico** di sistemi fisici nel modo più generale, compresi scambi di energia non meccanici (**calore**), dato che i sistemi TD possiedono energia interna
- La termodinamica è quella parte della fisica che studia il comportamento di sistemi complessi composti, da un punto di vista microscopico, da un numero molto elevato di **particelle**, utilizzando poche grandezze fisiche macroscopiche complessive del sistema (termodinamico) stesso, come volume, pressione, densità, temperatura,...).

# Capacità Termica e Calore Specifico

- Somministrando una certa quantità di calore  $Q$  ad un corpo di massa  $m$ , si nota che esso varia la sua temperatura di una quantità  $\Delta T$  tale che:  $\Delta T = \frac{Q}{C}$
- La grandezza  $C$  è detta **Capacità Termica**.
- Si nota che la variazione di temperatura ottenibile dipende, a parità di materiale, dalla massa del corpo in questione, cioè  $C$  dipende da  $m$ .
- Si definisce allora il **Calore Specifico  $c$**  come:

$$c = \frac{C}{m} \Rightarrow \begin{cases} C = \frac{Q}{\Delta T} \\ c = \frac{1}{m} \frac{Q}{\Delta T} \end{cases}$$

**$c$**  e' una proprieta' intrinseca del sistema TD

# Calore latente

- Non sempre ad un assorbimento di calore da parte di un solido o di un liquido corrisponde un aumento di temperatura.
- A volte la sostanza può passare da una fase (stato) ad un'altra.  
Ad esempio: solido – liquido (fusione)  
liquido – vapore (evaporazione)
- La quantità di calore che deve essere fornita per massa unitaria si chiama calore latente  $\lambda$ .  
 $Q = \lambda \cdot m$   
 $\lambda_v$  = calore latente di evaporazione  
 $\lambda_F$  = calore latente di fusione
- Togliendo calore alla sostanza avviene il passaggio inverso:  
liquido – solido (solidificazione)  
vapore – liquido (liquefazione)
- Ad una data pressione i passaggi di stato avvengono ad una temperatura fissata. Nel caso dell'acqua:

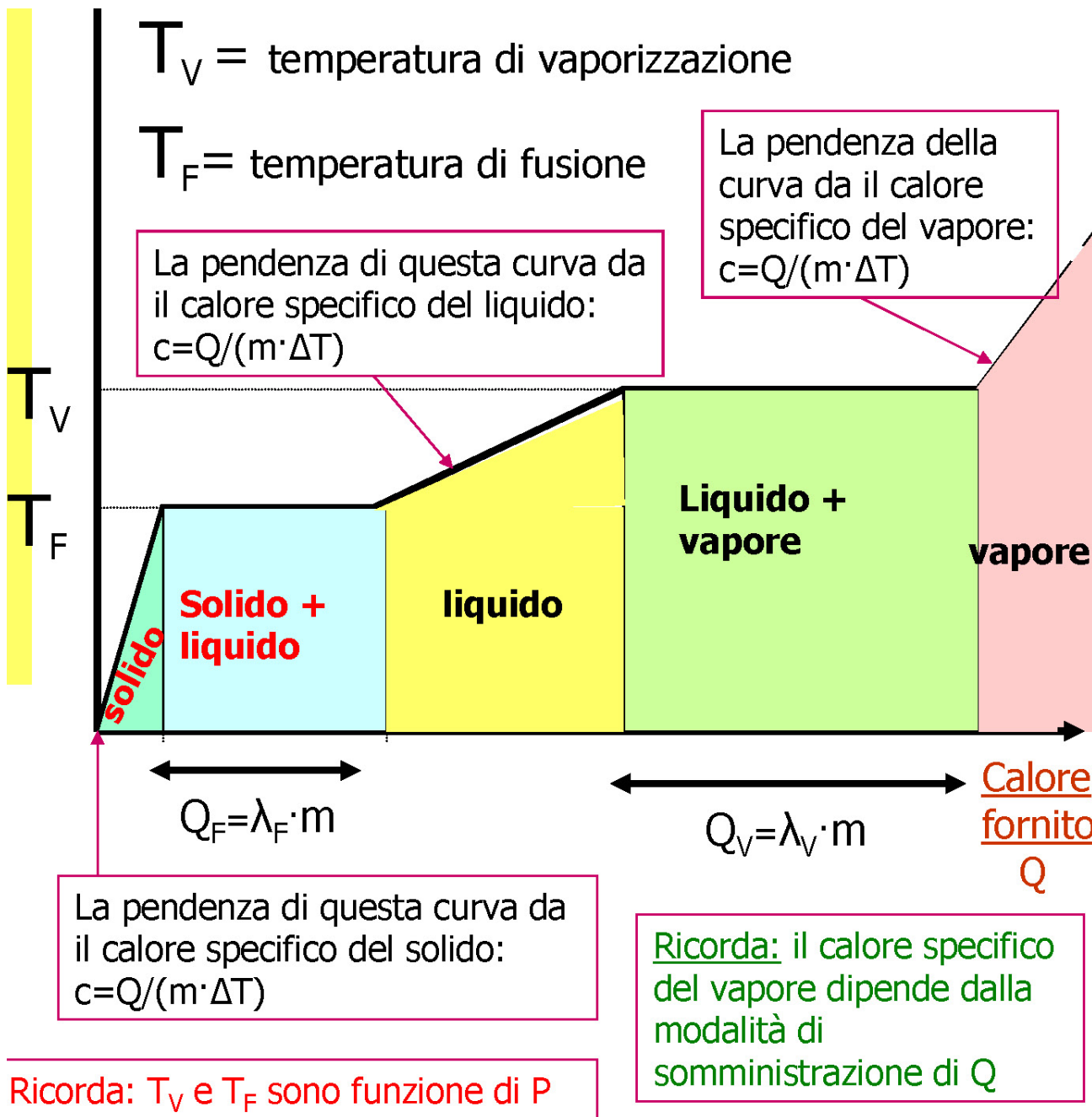
Fusione  $T=0\text{ }^{\circ}\text{C}$  :  $\lambda_F=79.5\text{ cal/g} = 6.01\text{ kJ/mol} = 333\text{ kJ/kg}$

Evaporazione  $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\lambda_v=539\text{ cal/g} = 40.7\text{ kJ/mol} = 2.26\text{ MJ/kg}$

# Passaggi di stato

Scaldiamo  $m$  kg di sostanza allo stato solido fino a portarla allo stato di vapore

NB: la temperatura rimane costante durante il cambiamento di fase



# Trasmissione del calore

- La trasmissione del calore da un corpo a temperatura  $T_c$  ad uno a temperatura  $T_f$ , dove  $T_c > T_f$ , avviene in tre modi:

- **CONDUZIONE**

La trasmissione avviene per contatto tra i due corpi. Ad esempio quando toccate con la mano il ferro da stiro.

- **Convezione**

La trasmissione avviene per spostamento da un posto ad un altro di molecole “calde” (ovvero che hanno energia cinetica più alta rispetto alle molecole che urtano). Ad esempio l'asciugacapelli: le molecole di aria calda vengono soffiate sui vostri capelli dalla ventola.

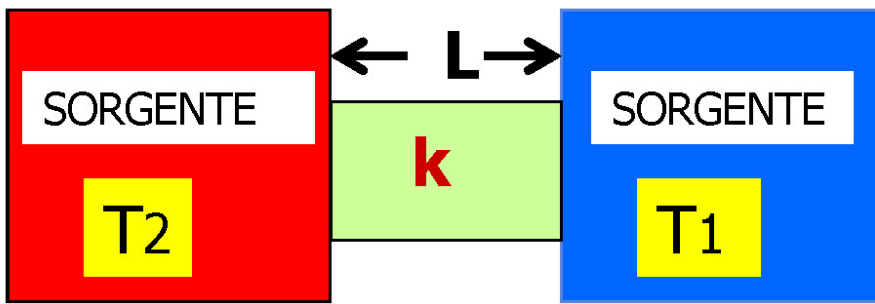
La convezione è importante nei liquidi e nei gas

- **IRRAGGIAMENTO**

Le molecole di un corpo si agitano tanto più velocemente tanto maggiore è la temperatura del corpo. Le cariche elettriche accelerate emettono energia sotto forma di onde elettromagnetiche. Quando la frequenza delle onde è nella regione dell'infrarosso, esse corrispondono a onde termiche.

Esempio: il sole.

N.B. Non vi è bisogno di un “supporto” per la trasmissione del calore per irraggiamento.



$T_2 > T_1$  Conduzione

- Una lastra metallica di spessore  $L$  e superficie  $A$  è a contatto con due sorgenti a temperatura  $T_1$  e  $T_2$ .
- Se  $T_2 > T_1$  “passa” del calore dalla sorgente 2 alla sorgente 1 attraverso la lastra.
- il calore che passa nell’unità di tempo attraverso la lastra vale:

$$H = \frac{dQ}{dt} = k \cdot A \frac{T_2 - T_1}{L}$$

(Ipotesi: niente dispersione dalle pareti laterali della lastra)

- $K$  è una costante che dipende dal materiale con cui è fatta la lastra. Si chiama conducibilità termica.

Buoni conduttori (metalli)  $\rightarrow k$  elevato

Cattivi conduttori (polistirolo, lana)  
 $\rightarrow k$  piccolo

# Irraggiamento

- La potenza  $P_r$  (energia per unità di tempo) emessa da un corpo tramite irraggiamento vale:

$$P_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot T^4$$

- $T$  = temperatura assoluta del corpo
  - $A$  = superficie del corpo
  - $\sigma$  = costante di Stefan-Boltzman  $5.6703 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$
  - $\varepsilon$  = emittanza (o emissività) della superficie del corpo. Può assumere valori compresi tra 0 e 1
- Un corpo emette solo le radiazioni che riesce ad assorbire
  - Un corpo che assorbe tutta la radiazione che lo investe (astrazione ideale) si chiama corpo nero.  
Il corpo nero avrà quindi anche il massimo di emissività ( $\varepsilon=1$ )
  - Misurando lo spettro e la potenza irraggiata da un corpo si risale alla sua temperatura.

# Convezione

In una fiamma, si vede l'energia termica che viene trasportata verso l'alto per mezzo della convezione di aria.

La convezione ha luogo quando un fluido (aria, acqua) è a contatto con un oggetto a  $T$  superiore.

La  $T$  della parte a contatto aumenta e (in molti casi) il fluido si espande. Espandendosi, la densità diminuisce; poiché è meno denso del fluido circostante, sale a causa della spinta di Archimede; il fluido circostante scende per prendere il posto di quello più caldo che sale e si genera una circolazione convettiva.

Esempi: convezione atmosferica che svolge un ruolo fondamentale per il clima globale.

Correnti termiche in atmosfera che alzandosi da terra mantengono in volo uccelli ed alianti.

L'energia prodotta all'interno del Sole viene trasportata in superficie dal moto convettivo di enormi colonne (dette di Taylor) a simmetria cilindrica (la stessa cosa avviene in una pentola d'acqua riscaldata dal fornello della cucina)

# Problema svolto 18.4 pag. 419

QUANTO CALORE OCCORRE PER FAR PASSARE DEL GHIACCIO DI MASSA  
 $m = 720 \text{ g}$  A  $-10^\circ\text{C}$  ALLO STATO LIQUIDO A  $15^\circ\text{C}$ ?

SUPPONETE DI FORNIRE AL GHIACCIO UN CALORE TOTALE DI SOLI  $210 \text{ kJ}$ .

QUALI SONO ALLORA LO STATO FINALE E LA TEMPERATURA DELL'ACQUA?

• DIVIDIAMO IL FENOMENO IN TRE FASI:

1) RISCALDAMENTO DEL GHIACCIO FINO A  $0^\circ\text{C}$

2) FUSIONE DEL GHIACCIO

3) RISCALDAMENTO DELL'ACQUA FINO A  $15^\circ\text{C}$

$$1) \quad Q_1 = c_{\text{ghiaccio}} \cdot m \cdot (T_f - T_i) = \left(2220 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (0.720 \text{ kg}) \cdot (0 - (-10)^\circ\text{C}) = 15.984 \text{ kJ}$$

$$2) \quad Q_2 = L_F \cdot m = \left(333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) \cdot (0.720 \text{ kg}) = 239.8 \text{ kJ}$$

$$3) \quad Q_3 = c_{\text{liquido}} \cdot m \cdot (T_f - T_i) = \left(4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (0.720 \text{ kg}) (15 - 0^\circ\text{C}) = 45.25 \text{ kJ}$$

# Continua...

$$1) \quad Q_1 = c_{\text{ghiaccio}} \cdot m \cdot (T_f - T_i) = \left(2220 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (0.720 \text{ kg}) \cdot (0 - (-10)^\circ\text{C}) = 15.98 \text{ kJ}$$

$$2) \quad Q_2 = L_F \cdot m = \left(333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) \cdot (0.720 \text{ kg}) = 239.8 \text{ kJ}$$

$$3) \quad Q_3 = c_{\text{acqua}} \cdot m \cdot (T_f - T_i) = \left(4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) (0.720 \text{ kg}) (15 - 0^\circ\text{C}) = 45.25 \text{ kJ}$$

- IL CALORE TOTALE E' LA SOMMA DEI TRE CALORI

$$Q_{\text{TOT}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 15.98 \text{ kJ} + 239.8 \text{ kJ} + 45.25 \text{ kJ} = 300 \text{ kJ}$$

- SE FORNAMO AL GHIACCIO SOLTANTO 210 kJ, RIUSCIAMO A SCALDARE IL GHIACCIO FINO A  $0^\circ\text{C}$ , MA NON RIUSCIAMO A FONDERSLO TUTTO

Poiche' ne usiamo  $Q_1$  per portare il ghiaccio fino a  $0^\circ\text{C}$ , ne abbiamo a disposizione

$$Q_{\text{RES}} = Q_{\text{TOT}} - Q_1 = 210 \text{ kJ} - 15.98 \text{ kJ} = 194 \text{ kJ}$$

- VEDIAMO QUANTO GHIACCIO RIUSCIAMO A FONDERSLO CON 194 kJ

$$m = \frac{Q_{\text{RES}}}{L_F} = \frac{194 \text{ kJ}}{333 \text{ kJ/kg}} = 0.583 \text{ kg} = 583 \text{ g}$$

- LO STATO FINALE E' COMPOSTO DA 583 g DI ACQUA E 137 g DI GHIACCIO A  $0^\circ\text{C}$

# Sistema Termodinamico

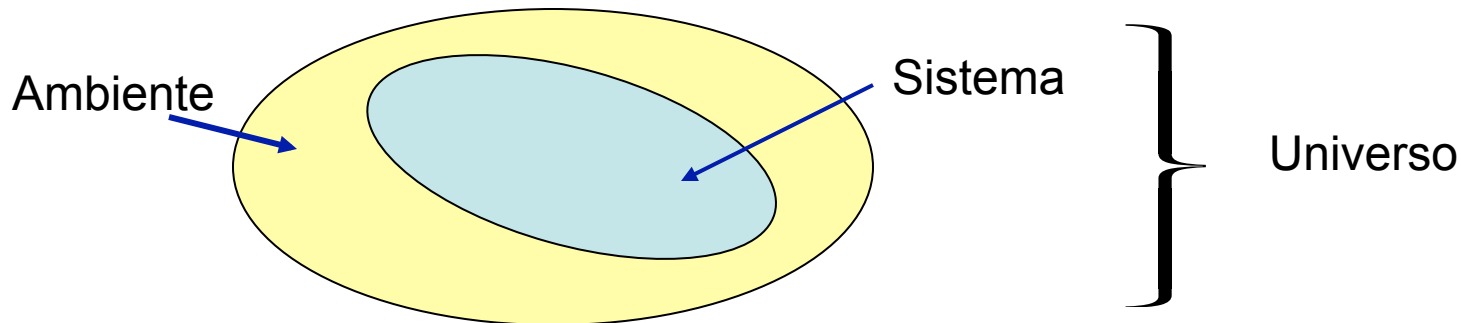
## Sistema TD

Porzione del mondo oggetto di osservazione. Formato da una (es. fluido omogeneo) o più parti.

## Ambiente

Insieme con cui può interagire il sistema. Contribuisce alla evoluzione del sistema.

Sistema + Ambiente = **Universo Termodinamico**



Un sistema può essere:

**APERTO**: scambia **energia** e **materia** con l'ambiente

**CHIUSO**: scambia **energia** (non materia) con l'ambiente

**ISOLATO**: nessuno scambio con l'ambiente

L'Universo TD si considera un sistema **isolato**.

# Descrizione di un sistema Termodinamico

Un sistema TD è descritto dai valori delle **variabili TD**

In piccolo numero.  
Grandezze macroscopiche

**Variabili Termodinamiche estensive**, che dipendono dalle dimensioni del Sistema, nel senso che se si hanno 2 sistemi, ciascuno caratterizzato da valori definiti delle variabili, l'unione dei 2 sistemi e' caratterizzato da valori del var pari alla somma di quelle dei singoli sistemi:  $V, m, U, S, \dots$

$$X = \sum_K X_K$$

**Variabili Termodinamiche intensive**, che non dipendono dalle dimensioni del sistema:  $p, \rho, T, \dots$

Le variabili termodinamiche devono essere definite in ogni punto in modo univoco

Tipo e numero dipendono dal sistema. Per un fluido omogeneo (v. **gas ideale**):  $P, V, T$ .

## Equilibrio Termodinamico

Uno stato è di equilibrio se:

Equilibrio  
chimico

Equilibrio  
meccanico

Sistema TD  
in equilibrio

Equilibrio termico

Equilibrio fra le parti del sistema  
Equilibrio fra sistema e ambiente

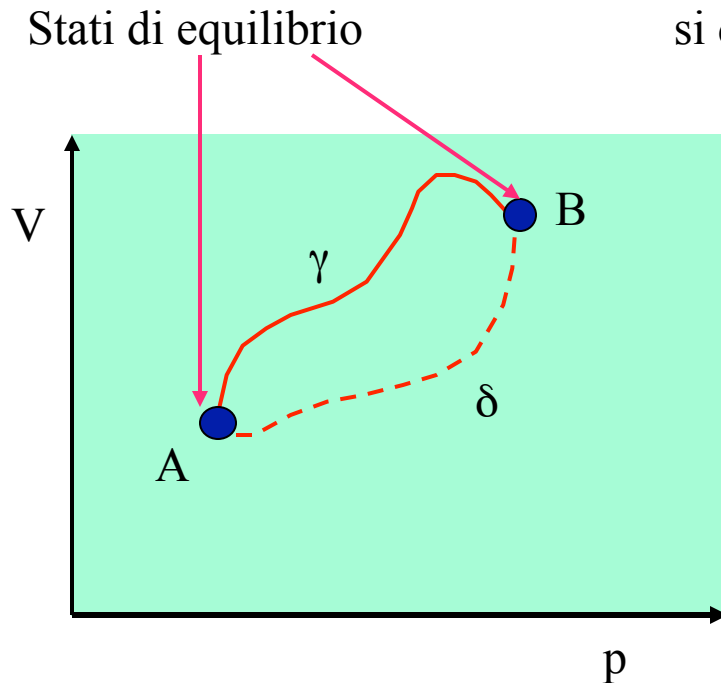
All'equilibrio le variabili TD sono legate da un'**equazione di stato**

es.  $f(p, V, T) = 0$  per gas ideale

perciò una variabile si può eliminare

# Trasformazioni Termodinamiche

L'evoluzione che porta dallo stato iniziale A a quello finale B  
si dice Trasformazione Termodinamica



Trasformazione: collega 2 stati di equilibrio.

(in un certo senso uno stato è solo di equilibrio)  
Gli stati di equilibrio si possono rappresentare come punti  
nello spazio delle **coordinate termodinamiche**  
(**variabili TD indipendenti**. Rispetto ad esse si  
possono esprimere tutte le proprietà del sistema)

IN UNO STATO DI EQUILIBRIO LE  
VARIABILI TERMODINAMICHE HANNO LO  
STESSO VALORE IN OGNI PUNTO DEL  
SISTEMA

- Le variabili termodinamiche che si possono usare sono:
  - Pressione  $P$
  - Volume  $V$
  - Temperatura  $T$
  - Entropia  $S$  (vedremo più avanti cosa è...)

# Tipi di trasformazioni

- **Trasformazioni cicliche.**
  - Lo stato finale è uguale a quello iniziale.
- **Trasformazioni quasi statiche.**
  - Il sistema durante la trasformazione passa solo attraverso stati di equilibrio.
- **Trasformazioni reversibili.**
  - La trasformazione si dice reversibile se si può eseguire una trasformazione che riporti il sistema allo stato iniziale passando per la stessa successione di stati intermedi, semplicemente invertendo il segno di calore e lavoro scambiati. Un esempio di trasformazione reversibile è il passaggio di stato. Una trasformazione quasi statica e senza effetti dissipativi è reversibile.
- **Trasformazione irreversibile.**
  - Non è possibile tornare allo stato iniziale invertendo il segno del calore e del lavoro.

# Lavoro meccanico

- Ipotesi: la pressione ambiente  $P_A$  è uguale alla pressione interna  $P$ , allora il pistone non si muove.
- Il pistone si muove se  $P_A \neq P$ .
- In una trasformazione reversibile  $\Delta P = P_A - P = \text{infinitesimo}$ .
- In una trasformazione irreversibile  $\Delta P = P_A - P = \text{valore finito}$ .
- Immaginiamo che il pistone si espanda di  $dh$  in modo reversibile:

$$\delta L = F \cdot dh = (P \cdot S)dh = P(S \cdot dh) = P \cdot dV$$

$P$  è lo stesso in tutto il volume del gas (stato di equilibrio)

- N.B. in caso di trasformazione irreversibile occorre considerare la pressione esterna contro cui si espande il pistone

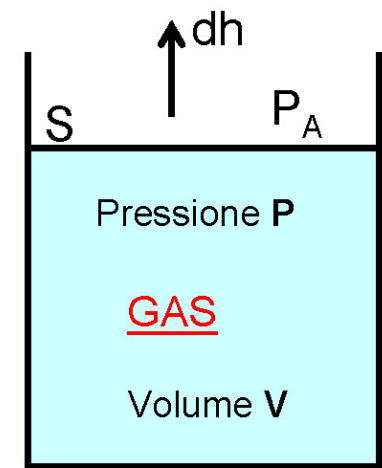
$$\delta L = P_A \cdot dV$$

- Il lavoro totale si calcola come:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

- Convenzione sui segni:

- **Lavoro fatto dal sistema (espansione)  $\Rightarrow L$  POSITIVO**
- **Lavoro fatto sul sistema (compressione)  $\Rightarrow L$  NEGATIVO**



Clindro riempito di gas a pressione  $p$  e volume  $VG$ , chiuso da un pistone mobile di area  $S$

UNA BOMBOLA CONTIENE 100 LITRI DI GAS A 20 atm ED È COLLEGATA AD UN CILINDRO CON PISTONE TRAMITE UNA VALVOLA CHE FA FLUIRE IL GAS MOLTO LENTAMENTE.

IL CILINDRO HA UN VOLUME DI 2 LITRI E IL PISTONE È POGGIATO INIZIALMENTE SUL FONDO. TROVARE IL LAVORO MECCANICO FATTO DAL SISTEMA (GAS) QUANDO IL PISTONE SI È COMPLETAMENTE ESPANSO.



- LA TRASF. È IRREVERSIBILE
- SUL PISTONE AGISCE LA PRESSIONE ESTERNA  $P_0$  (TRASCURANDO IL PESO DEL PISTONE)
- IL LAVORO FATTO DAL PISTONE VALE:

$$\delta L = P_0 dV$$

$$L = \int_0^V P_0 dV = P_0 \int_0^V dV = P_0 V$$

$$L = P_0 V = 1 \text{ atm} \cdot 2 \text{ l} =$$

$$= \underset{\text{Pa}}{1.01 \cdot 10^5} \cdot \underset{\text{m}^3}{2 \cdot 10^{-3}} = 2.03 \cdot 10^2 \text{ J}$$

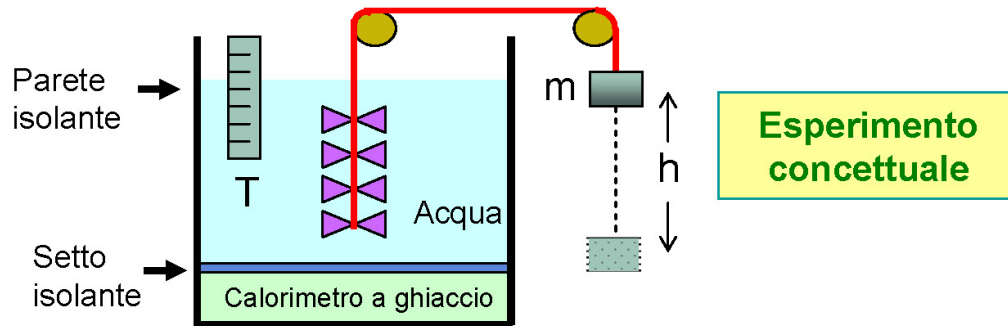
Attenzione alle unita'!

$$1 \text{ atm} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

- SE NON CI FOSSE STATA L'ATMOSFERA, QUANTO SAREBBE STATO IL LAVORO?

# Esperienza di Joule



- Prendiamo un mulinello immerso in un contenitore isolante, che non permette scambi di calore con l'esterno, contenente acqua.
- Il mulinello è collegato ad una massa  $m$  che può scendere di una quota  $h$ .
- Un termometro  $T$  permette di misurare la temperatura dell'acqua.
- L'acqua può scambiare calore con un calorimetro a ghiaccio (che si trova a  $T=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) togliendo un setto isolante.

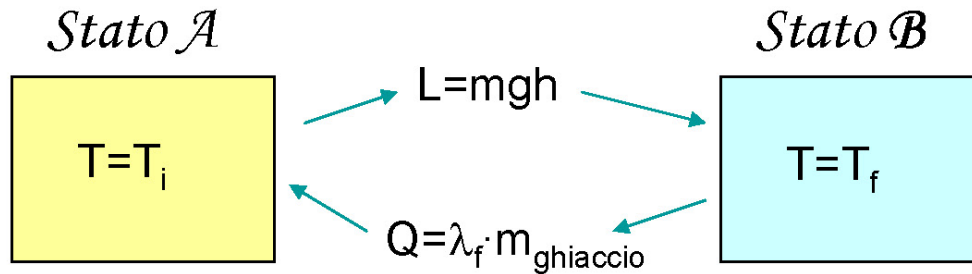
## ■ Esperimento:

- 1) Si misura la temperatura dell'acqua  $T_i$
- 2) Si fa scendere la massa  $m \Rightarrow L = \Delta U_g = mgh$
- 3) Si misura di nuovo la temperatura dell'acqua e si trova che è aumentata.  $T_f > T_i$
- 4) Si toglie il setto isolante. Del calore passa dall'acqua al calorimetro. Il ghiaccio comincia a fondere.  
Quando  $T=T_i$  il calore trasferito al calorimetro vale  $Q$  (misurato dalla quantità di ghiaccio che si è sciolto).



Siamo tornati nello stesso stato iniziale (stessa temperatura) Sper. 26

# Esperienza di Joule

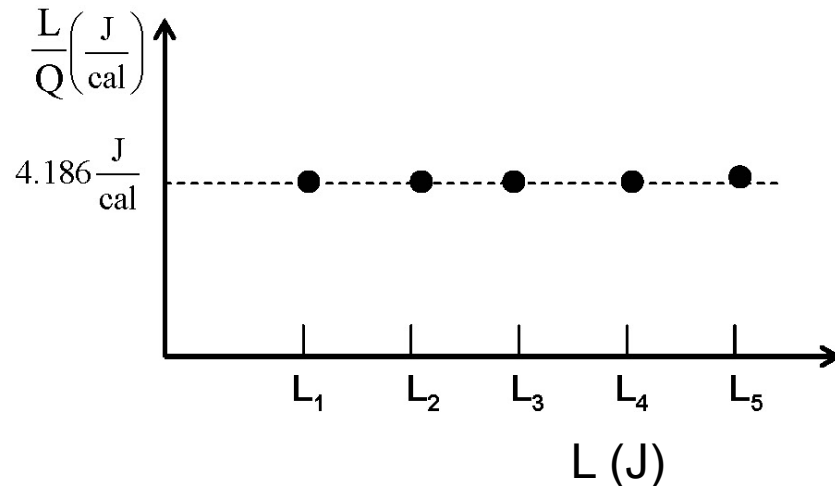


Ripetiamo l'esperimento cambiando il lavoro fatto dal mulinello sull'acqua.

Si può fare cambiando la massa  $m$  oppure l'altezza  $h$

Per ogni valore di  $L$  si misura il corrispondente valore di  $Q$  necessario per riportare il sistema nello stato iniziale.

Costruiamo il grafico seguente:



In una trasformazione ciclica il rapporto tra il lavoro fatto sul sistema ed il calore sottratto è una costante universale.

$$\frac{L}{Q} \equiv J = 4.186 \frac{\text{J}}{\text{cal}}$$

(equivalente meccanico della caloria)

Se uso le stesse unità di misura per il lavoro ed il calore, in una trasformazione ciclica si ha:

$$Q - L = 0$$

**Il calore e' quindi un aspetto che l'energia assume nel passaggio da un sistema all'altro**

*Stato C*



- Abbiamo:

- 1)  $L_1 = m_1 g h$  ;  $Q_1 = m_{g1} \cdot \lambda_f$
- 2)  $L_2 = m_2 g h$  ;  $Q_2 = m_{g2} \cdot \lambda_f$
- 3)  $L_i = m_i g h$  ;  $Q_i = m_{gi} \cdot \lambda_f$
- 4)  $L_n = m_n g h$  ;  $Q_n = m_{gn} \cdot \lambda_f$
- 5)  $L = m g h$  ;  $Q = 0$  [caso particolare]

# Energia interna U

- Per andare dallo stato A ( $T=T_i$ ) allo stato B ( $T=T_f$ ), il sistema (acqua) scambia con l'ambiente calore e lavoro.
- Calore e lavoro scambiati sono diversi in funzione del tipo di trasformazione eseguita.
- Qualunque sia il tipo di trasformazione, sperimentalmente, si trova sempre che:

$$Q_1 - L_1 = Q_2 - L_2 = \dots Q_i - L_i = \dots Q_n - L_n$$

- Ovvero:

$$Q - L = \text{costante}$$

# Energia interna U

- Se cambiamo lo stato iniziale ( $T_i' \neq T_i$ ) oppure lo stato finale ( $T_f' \neq T_f$ ) e ripetiamo l'esperimento troviamo:

$$Q' - L' = \text{costante'}$$

- La grandezza  $Q-L$  non dipende dal tipo di trasformazione eseguita, ma dipende solo dallo stato iniziale e dallo stato finale (ricordate il lavoro di una forza conservativa?)
- Quindi  $Q-L$  è uguale alla variazione di una funzione di stato. Una funzione che dipende solo dal valore dei parametri di stato.
- Tale funzione di stato si chiama **Energia Interna U** (oppure  $E_{int}$ ).

# I principio della TD

$$Q - L = U(B) - U(A) = \Delta U$$

- L'energia interna  $U(P,V,T)$  è funzione dei parametri di stato
- Nella relazione  $Q-L=\Delta U$  compare solo come differenza, quindi è definita a meno di una costante arbitraria.
- Consideriamo ora un tratto elementare di una trasformazione reversibile (cioè che passa solo per stati di equilibrio):

$$\delta Q - \delta L = dU$$

- $dU$  è un differenziale esatto (corrisponde cioè alla variazione di una funzione di stato), mentre  $\delta Q$  e  $\delta L$  sono solo quantità piccole, ma non sono differenziali esatti, perché il loro valore dipende dal tipo di trasformazione.

# Primo Principio della TD

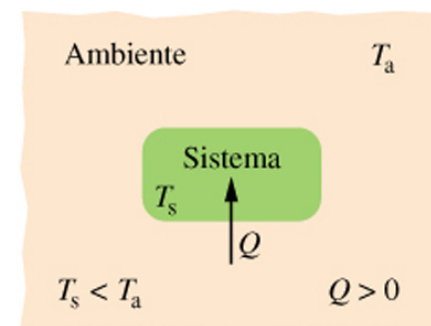
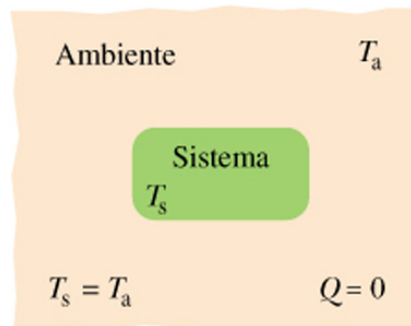
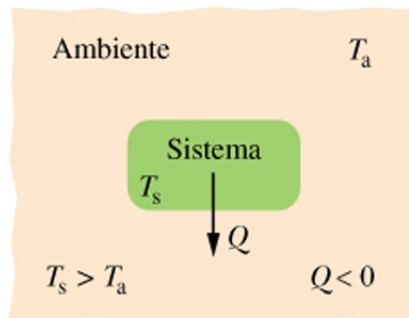
- Siccome la termodinamica si è sviluppata con lo studio delle macchine termiche era interesse degli studiosi realizzare delle macchine che assorbissero calore e producessero lavoro
- Per questo motivo si è adottata la convenzione che il **calore è positivo quando fornito al sistema e negativo quando ceduto da esso** e che **il lavoro sia positivo quando fatto dal sistema** (cessione di energia meccanica) **e negativo quando subito da esso** (acquisizione di energia meccanica da parte del sistema)

Il calore **assorbito** dal sistema è **positivo**

Il calore **ceduto** dal sistema è **negativo**

Il lavoro fatto **dal** sistema è **positivo**

Il lavoro fatto **sul** sistema è **negativo**



# I principio: conservazione energia

- Ricordate dalla meccanica che nel caso del lavoro fatto in un campo di forze conservative si aveva:

$$L = \Delta U \quad (\text{variazione dell'energia potenziale})$$

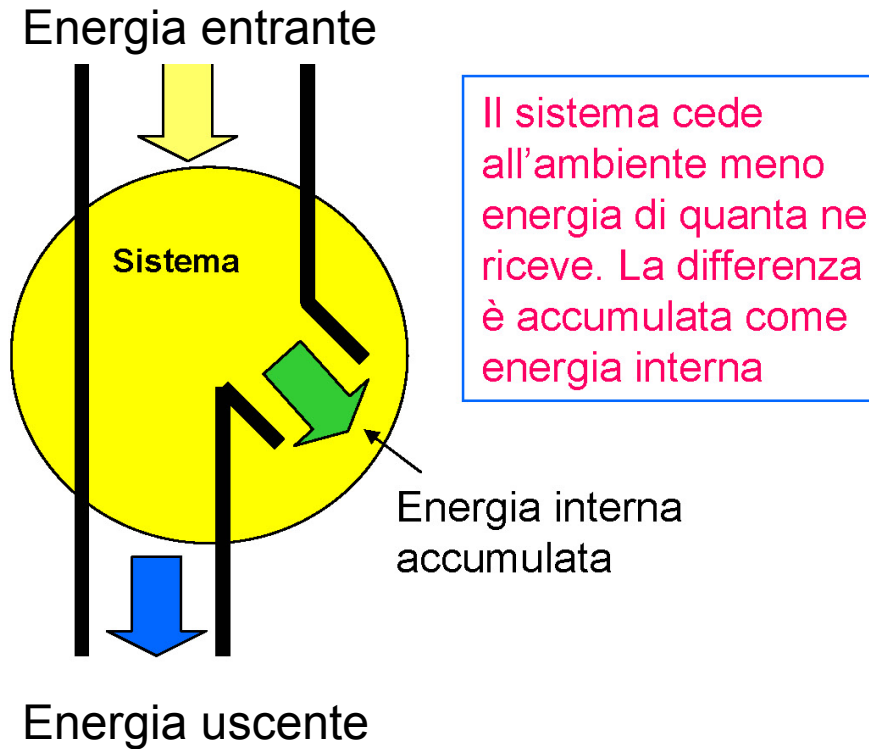
↘ lavoro fatto sul campo

Il lavoro fatto dal campo vale  $L = - \Delta U$

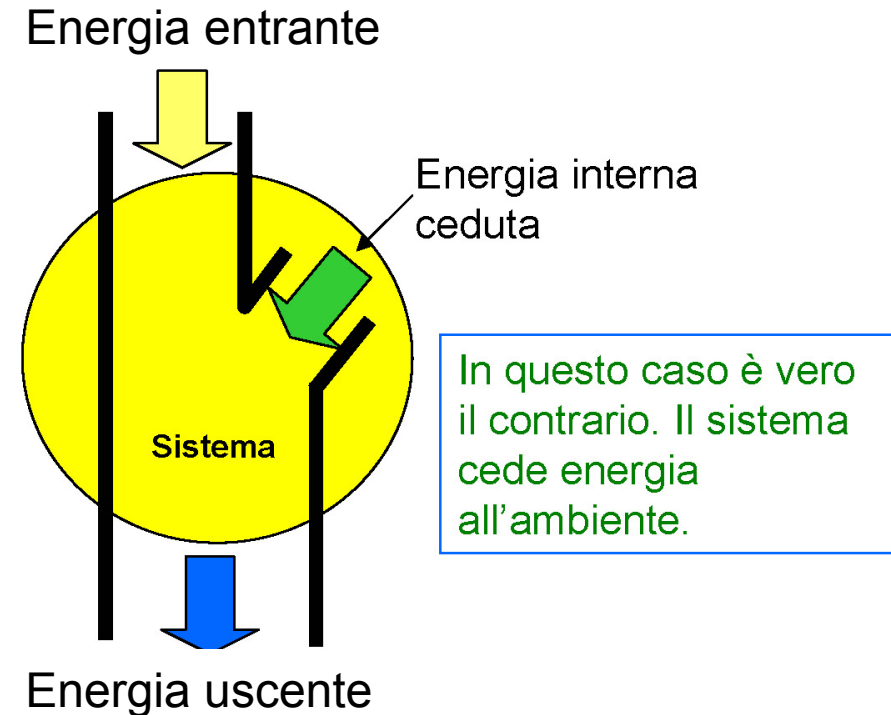
- Nel caso di forze non conservative (attrito) non vale il principio di conservazione dell'energia meccanica.
- Il primo principio della termodinamica ristabilisce la legge di conservazione dell'energia introducendo un'altra forma attraverso la quale può essere scambiata energia: il calore.

$$\Delta U = Q - L \quad (U=\text{energia interna})$$

# I principio: cons energia



$E_{\text{entrante}} > E_{\text{uscente}}$



$E_{\text{entrante}} < E_{\text{uscente}}$

# Primo Principio della Termodinamica

- E' fondamentale notare che:  $U$  è una funzione di stato, cioè dipende solo dalle grandezze macroscopiche che definiscono lo stato di equilibrio del sistema:
  - Nei gas e nei fluidi in genere:  $T, p, V$
  - Nei solidi occorre aggiungere altri parametri, come la forma, la struttura cristallina,...
- Una variazione  $\Delta U$  dipende solo dallo stato finale e da quello iniziale, non dal tipo di trasformazione eseguita
- $Q$  e  $L$  invece dipendono dalla particolare trasformazione avvenuta.

# Trasformazioni

- **Trasformazioni Adiabatiche**

- Il sistema è isolato termicamente  $\rightarrow$  non c'è trasferimento di calore con l'ambiente  $\Rightarrow \Delta U = -L$  ( $dQ=0$ )

- **Trasformazioni Isocore**

- Sono trasformazioni a volume costante  $\Rightarrow$  il lavoro meccanico è nullo  $\Rightarrow \Delta U = Q$  ( $dV=dL=0$ )

- **Trasformazioni Cicliche**

- Lo stato iniziale e finale sono identici  $\Rightarrow \Delta U = 0$  ( $dU=0$ )

- **Trasformazioni Isobare**

- Sono trasformazioni a pressione costante ( $dp=0$ )

- **Trasformazioni ad Espansione Libera**

- Sono trasformazioni adiabatiche dove anche il lavoro è nullo  $\Rightarrow \Delta U = 0$  ( $dU=0$ )