



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Facoltà di Architettura

-

Laurea magistrale in
Architettura a ciclo unico

Corso di fisica tecnica ambientale

**LEZIONE 2:
PRINCIPI DI FISICA**

Ing. Marco Cecconi

marco.cecconi@ingenergia.it

Obiettivo

- Introdurre i **principi fondamentali della fisica** con particolare attenzione alla **termodinamica**.

Indice

2. Principi di fisica

○ Introduzione alla fisica	3
○ Grandezze fisiche fondamentali	7
○ Termodinamica e sistemi termodinamici	21
○ Grandezze termodinamiche	24
○ Equilibrio e trasformazioni	37
○ 1° principio della termodinamica, energia interna, entalpia	39
○ 2° principio della termodinamica, entropia	47
○ Reversibilità delle trasformazioni	56

Introduzione alla fisica

COS'E' LA FISICA

- **Fisica**

(dal greco τὰ φυσικά [*tà physiká*]: "le cose naturali")

Studio delle **leggi** che regolano il funzionamento dei **fenomeni naturali** attraverso il **metodo scientifico**.

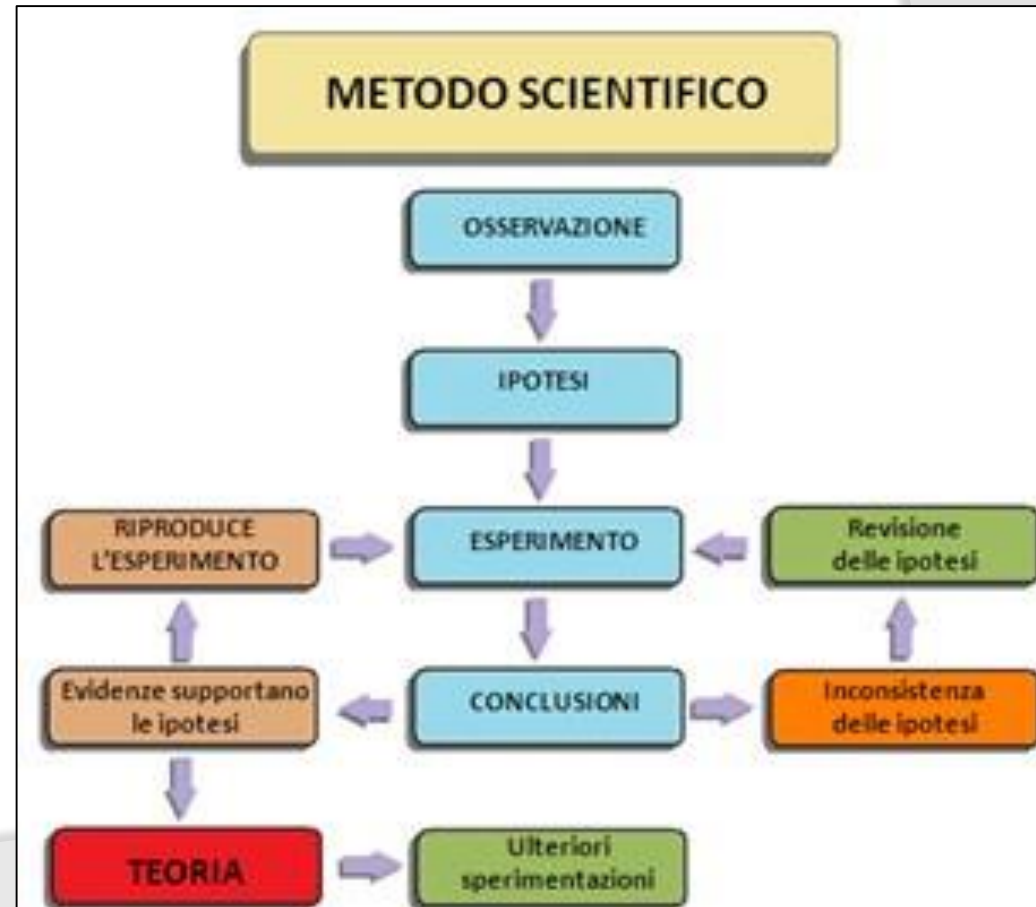
- **Metodo scientifico**

Procedimento sistematico per raggiungere una conoscenza oggettiva, affidabile, verificabile e condivisibile.



Galileo Galilei
(1564-1642)

..."e pur si muove!"



Introduzione alla fisica

EVOLUZIONE DELLA FISICA

- 1) **Meccanica classica** (dal XVI secolo): studio del comportamento di corpi sottoposti a sollecitazioni (forze).
- 2) **Ottica** (dal XVII secolo): studio della luce e dei fenomeni associati.
- 3) **Termodinamica** (da fine XVII secolo): **studio dei processi implicanti scambi e conversioni di energia nelle diverse forme.**
- 4) **Elettromagnetismo** (dal XVIII secolo): studio delle proprietà elettriche e magnetiche della materia e applicazioni.
- 5) **Meccanica statistica** (da fine XVIII secolo): studio del comportamento di un insieme di corpi mediante le leggi della statistica.
- 6) **Fisica nucleare** (da fine XVIII secolo): studio della radioattività e delle caratteristiche atomiche e nucleari.
- 7) **Meccanica relativistica** (da inizio '900): studio della relatività dello spazio-tempo.
- 8) **Meccanica quantistica** (da inizio '900): studio del comportamento della materia su scala atomica e subatomica.
- 9)

Introduzione alla fisica

MECCANICA CLASSICA

- Studia il comportamento di **corpi** sottoposti a **sollecitazioni** (forze).
- Alcuni concetti di meccanica classica sono necessari per lo studio della termodinamica.
- La **meccanica classica** si suddivide in:
 - **cinematica**: studio del moto dei corpi (senza considerarne le cause);
 - **dinamica**: studio delle cause del moto;
 - **statica**: studio dell'equilibrio dei corpi.
- In questa presentazione vengono citati solo alcuni **concetti e grandezze fondamentali** senza entrare nello specifico.



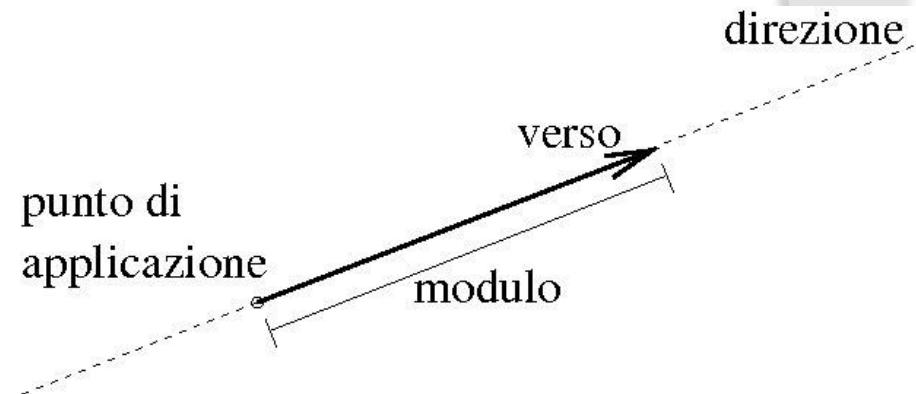
Grandezze scalari e vettoriali

GRANDEZZE SCALARI

- Sono grandezze fisiche **interamente descritte da un solo numero**.
- **Esempi:** tempo (t), massa (m), temperatura (T), energia (E), ecc.
- **Le operazioni** tra grandezze scalari **sono uguali a quelle tra normali numeri**.

GRANDEZZE VETTORIALI

- Sono grandezze fisiche che **sono descritte da 4 informazioni**:
 - **Punto di applicazione;**
 - **Intensità (o modulo);**
 - **Direzione;**
 - **Verso.**
- **Esempi:** velocità ($\vec{v}$), forza ($\vec{F}$), accelerazione ($\vec{a}$), ecc.
- **Le operazioni** tra grandezze vettoriali **sono uguali** a quelle tra normali numeri **solo se hanno stesso punto di applicazione e stessa direzione**, altrimenti occorre usare le operazioni vettoriali (molto più complesse). **Nei calcoli ci riferiremo sempre a grandezze con stessa direzione, quindi non serviranno le operazioni vettoriali.**



Grandezze fisiche fondamentali

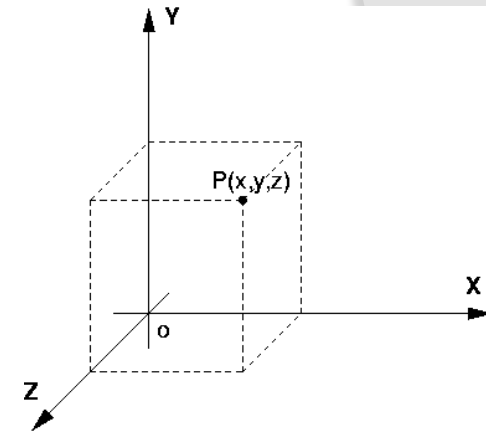
TEMPO

- **Tempo (t) = dimensione** nella quale si concepisce e si misura il **trascorrere** degli eventi.
- Si misura in **secondi [s]** o in ore [h].
- Conversione $\rightarrow 1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 60 \cdot 60 \text{ s} = 3600 \text{ s}$.



POSIZIONE

- **Posizione (P) = punto** definito da **3 coordinate** in un sistema di riferimento spaziale.
- Le coordinate si misurano in **metri [m]**.

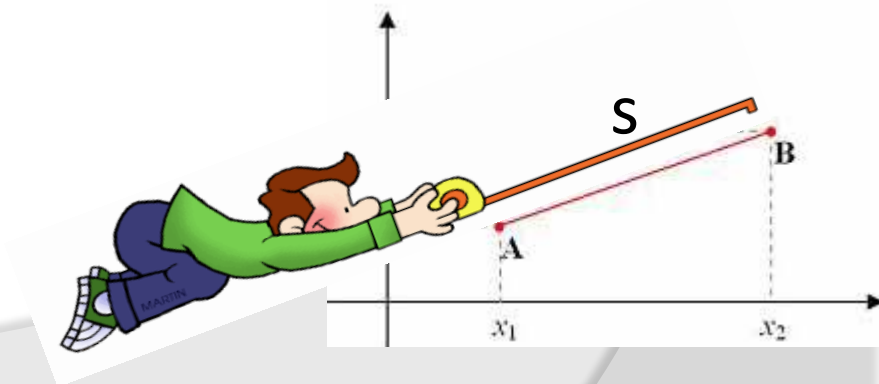


SPAZIO

- **Spazio (s) = distanza tra due punti.**
- Quindi, spazio = **variazione di posizione:**

$$\vec{s} = \Delta P$$

- Si misura in **metri [m]**.
- Lo spazio è una grandezza vettoriale.



Grandezze fisiche fondamentali

VELOCITA'

- **Velocità (v)** = spazio percorso per unità di tempo =
= **variazione di posizione per unità di tempo**

$$\vec{v}_m = \frac{\vec{s}}{\Delta t} = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

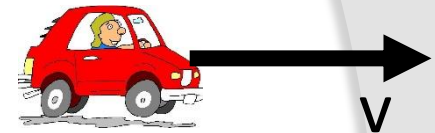
Velocità media nel periodo di tempo Δt .

$$\Rightarrow \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Rightarrow$$

$$\vec{v}(t) = \frac{dP(t)}{dt} = \dot{P}$$

Velocità istantanea al tempo t .

Derivata rispetto al tempo della posizione del punto



- Si misura in **metri al secondo [m/s]** oppure [km/h].
- Conversione tra unità: 1 m/s = 3,6 km/h.
- E' una grandezza vettoriale (ha una direzione e un verso).

ACCELERAZIONE

- **Accelerazione (a)** = variazione di velocità per unità di tempo.

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Accelerazione media nel periodo di tempo Δt .

$$\Rightarrow \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Rightarrow$$

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} = \dot{\vec{v}} = \ddot{P}$$

Accelerazione istantanea al tempo t .

Derivata rispetto al tempo della velocità istantanea

Derivata seconda rispetto al tempo della posizione



- Si misura in **metri al secondo quadrato [m/s²]**
- E' una grandezza vettoriale.
- L'**accelerazione gravitazionale** a cui sono sottoposte le masse sulla Terra è pari a 9,81 m/s².



Grandezze fisiche fondamentali

ESERCIZIO su posizione, velocità e accelerazione:

Un treno parte da fermo, accelera, e dopo 2 minuti ha una velocità di 100km/h.

- Qual è l'accelerazione media a_m del treno durante il percorso?
 - $a_m = \Delta v / \Delta t = 0,23 \text{ m/s}^2$.
- Supponendo che il treno acceleri in modo uniforme ($a(t)=a_m$), qual è la velocità del treno dopo 30 secondi? Sia in [m/s] che in [km/h].
 - usando i valori medi: $\Delta v(30) = a_m \cdot \Delta t = 6,94 \text{ m/s} = 25 \text{ km/h}$
 - usando i valori istantanei: $v(t) = \int a(t) dt = a_m \int 1 dt = a_m t$
...quindi...
 $v(30) = 0,23 \cdot 30 = 6,94 \text{ m/s} = 25 \text{ km/h}$
- Quanto spazio ha percorso alla fine dei due minuti?
 - usando i valori istantanei: $s(t) = \int v(t) dt = a_m \int t dt = \frac{a_m t^2}{2}$
...quindi...
 $s(120) = 0,23 \cdot 120^2 / 2 = 1656 \text{ m}$
- Che velocità ha a metà percorso (828 m)?
 - usando i valori istantanei (si inverte la formula sopra): $t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a_m}}$
 $t(828) = 84,9 \text{ s}$...da cui... $v(84,9) = 19,5 \text{ m/s} = 70 \text{ km/h}$

Grandezze fisiche fondamentali

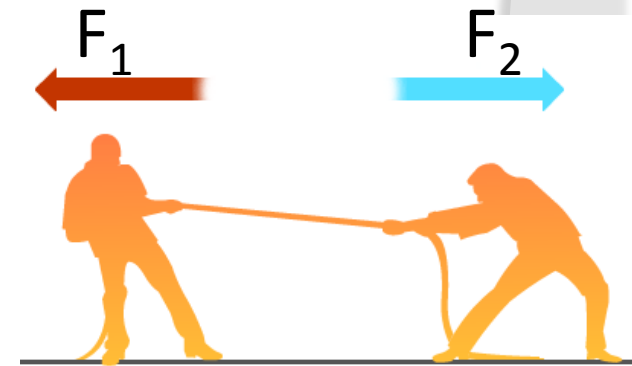
MASSA

- **Massa (M) = quantità di materia.**
- Indica quanta materia è presente in un corpo.
- Si misura in **chilogrammi [kg]**.
- Massa e peso sono due cose diverse!! (vedi dopo)



FORZA

- **Forza (F) = entità che varia uno stato di quiete o di moto di un corpo.**
- Ciò che permette di far accelerare (o rallentare) un corpo, oppure di mantenerlo fermo.
- Si misura in **Newton [N] = $[\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2]$**
- E' una grandezza vettoriale.
- **1° principio della dinamica (principio di inerzia):**
"Ogni corpo, se sottoposto a forze con risultante nulla, persevera lo stato di quiete di moto rettilineo uniforme".



Grandezze fisiche fondamentali

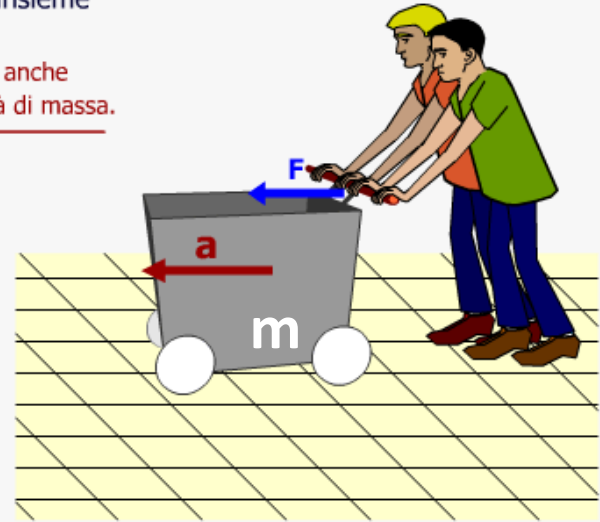
LEGAME TRA FORZA, MASSA E ACCELERAZIONE (2° principio della dinamica)

- **Forza = massa per accelerazione**
- L'accelerazione di un corpo è proporzionale alla forza impressa.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

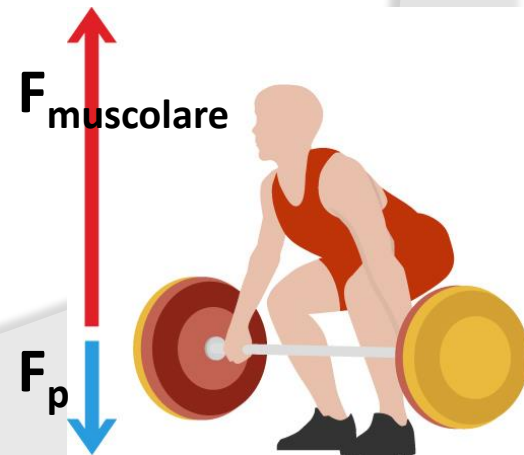
C. Spingi il carrello insieme ad un amico.

La forza raddoppia, ed anche l'accelerazione, a parità di massa.



PESO e MASSA

- **Peso e massa sono due cose molto diverse!**
- **Peso** = forza peso (F_p) = **forza di attrazione gravitazionale** su un corpo.
- Il peso è una forza a tutti gli effetti.
- Per il 2° principio della dinamica, considerando che l'accelerazione gravitazionale (g) è pari a $9,81 \text{ m/s}^2$, la relazione tra massa e peso è la seguente: $m = F_p / 9,81$.
- **Nota: la bilancia è sensibile al peso ma l'indicatore indica la massa!**



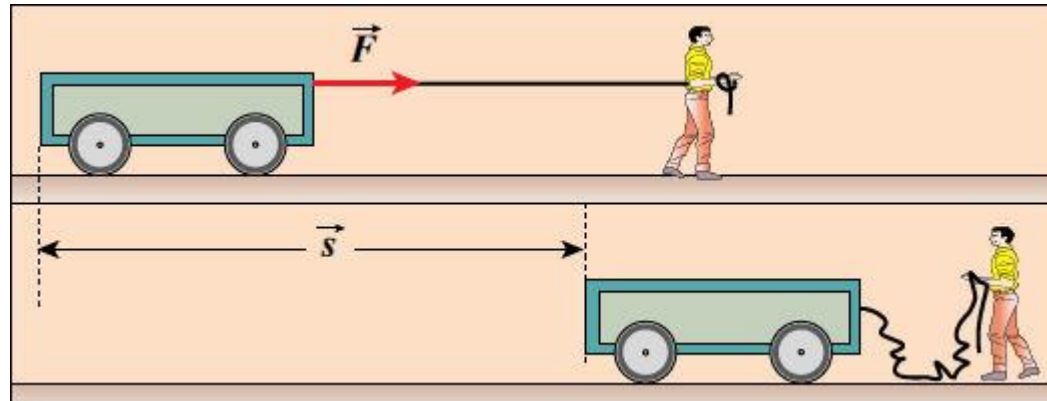
Grandezze fisiche fondamentali

LAVORO

- **Lavoro (L) = Energia meccanica** = energia legata allo spostamento di un corpo o di un fluido.
- Le leggi della **meccanica classica** lo definiscono come "**forza per spostamento**":

$$L = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

Lavoro [N·m]=[J] Forza [N] Spazio (inteso come spostamento) [m]



- Una **forza senza spostamento** non svolge un lavoro (**non produce/consuma energia**).
- E' una **grandezza scalare**, in quanto risultato di un prodotto scalare tra vettori.
- Si misura nelle stesse unità di misura dell'energia, di solito [J] o [Wh].

Grandezze fisiche fondamentali

ESERCIZIO su posizione, velocità e accelerazione:

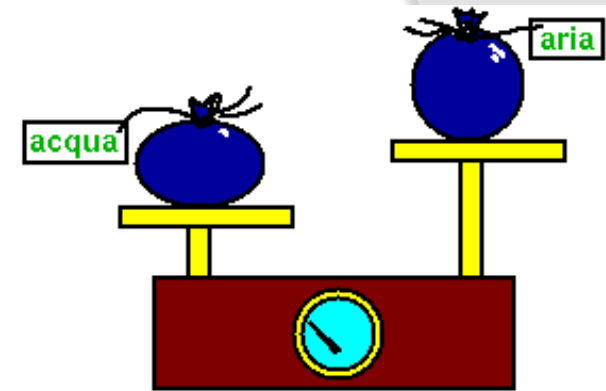
Un oggetto da 10 kg è sospeso a 20 m di altezza da terra agganciato ad un sostegno (si considera non ci siano attriti).

- *Quant'è la forza gravitazionale che attrae il corpo verso terra?*
 - $F = m \cdot a = 10 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ N}$
- *Quant'è la forza che deve sopportare il sostegno per sostenere il corpo?*
 - *Uguale a quella gravitazionale = 98,1N*
- *Quant'è il lavoro che svolge il sostegno sull'oggetto?*
 - $L = F \cdot s = 0$, nessun lavoro, non c'è spostamento
- *Se il corpo dovesse cadere a terra, quanto sarebbe il lavoro svolto dalla forza gravitazionale?*
 - $L = F \cdot s = 98,1 \cdot 20 = 1962 \text{ J}$
- *Quanta sarebbe l'energia meccanica necessaria per riportarlo sù?*
 - $L = 1962 \text{ J}$

Grandezze fisiche fondamentali

DENSITA'

- **Densità (ρ)** = massa per unità di volume (detta anche massa volumica o massa specifica):
 $\rho = M / V$ (Densità = Massa / Volume)
- Indica la quantità di massa di una certa sostanza all'interno di un volume.
- Si misura in $[\text{kg}/\text{m}^3]$.

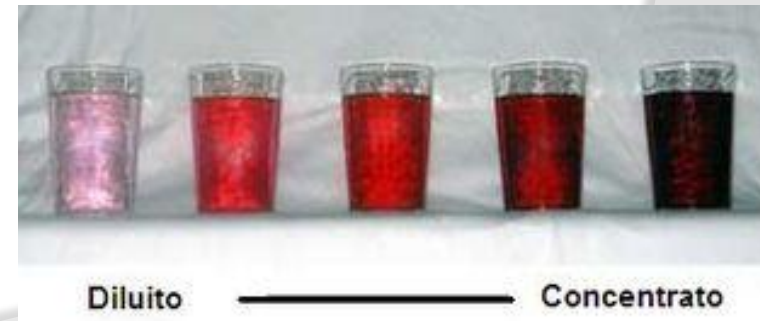


CONCENTRAZIONE

- **Concentrazione (c)** = quantità di un componente di una miscela rispetto a tutti i componenti presenti.

Si può esprimere in vari modi:

- In massa $M_{\text{componente}} / M_{\text{miscela}} \quad [\text{kg}_c / \text{kg}_m]$
- In volume $V_{\text{componente}} / V_{\text{miscela}} \quad [\text{m}^3_c / \text{m}^3_m]$



Grandezze fisiche fondamentali

ENERGIA

- **Energia (E) = entità in grado di produrre cambiamenti in un sistema.**

Considerazioni:

“È importante comprendere che nella fisica non abbiamo nessuna idea di che cosa sia l'energia...”

Premio Nobel Richard Feynman

L'energia rimane un'entità astratta definibile solo dall'osservazione dei suoi effetti.

- **L'energia appare sotto svariate forme:** lavoro, calore, reazioni chimiche, reazioni nucleari, luce, movimento, elettromagnetismo, potenziale, ecc.
- Si misura in **Joule [J]**=[W·s], **Wattora [Wh]**=[W·h], (**Calorie [cal]** → obsoleto).

POTENZA

- **Potenza (P) = energia per unità di tempo.**
- Esprime la **capacità di un sistema di erogare/assorbire molta energia in poco tempo.** Nelle macchine è una caratteristica costruttiva.
- Si misura in **Watt [W]** = 1J/1s = 1Wh/1h

Grandezze fisiche fondamentali

RELAZIONE TRA ENERGIA E POTENZA

- L'**energia** è la **potenza applicata** per un intervallo di tempo:

$$E = P_m \cdot \Delta t$$

Intervallo di tempo considerato [s] o [h]

Potenza media nell'intervallo di tempo considerato [W]

Energia [J] o [Wh]

Attenzione alle unità di misura!!

Se Δt è in [s], E è in [J]

Se Δt è in [h], E è in [Wh]

Se P_m è in [kW] i risultati sono risp. [kJ] e [kWh]

- La **potenza media** (P_m) è l'energia divisa per il tempo di applicazione;
- La **potenza istantanea** (P) è la derivata nel tempo dell'energia.

$$P_m = \frac{E}{\Delta t} \Rightarrow \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Rightarrow P(t) = \frac{dE(t)}{dt} = \dot{E}$$

Potenza media nell'intervallo Δt

Potenza istantanea al tempo t

Derivata rispetto al tempo dell'energia

- Nota bene: energia (E) e potenza (P), possono essere chiamate con **diversi simboli** a seconda della **forma energetica**, ad esempio:
 - Energia termica** (Q), **Potenza termica** (q) oppure ($\dot{Q}$).
 - Energia meccanica** (L), **Potenza meccanica** (P) o (W) o ($\dot{L}$).

Grandezze fisiche fondamentali

POTENZA NOMINALE

- **Potenza nominale (P_n)** (o di targa, o massima) = **potenza** che un macchinario può erogare/assorbire nel suo **utilizzo normale** (senza guasti) **al massimo delle sue possibilità**.
- E' una **caratteristiche costruttiva** e viene riportata sulla targhetta delle macchine o sulle schede tecniche.
- Le macchine non lavorano sempre alla massima potenza.
- La **potenza effettiva** (istantanea o media) si calcola come segue:

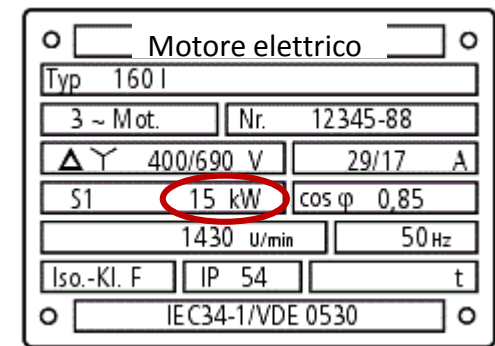
$$P = k_u P_n$$

— Potenza nominale [W] o [kW]

— Fattore di utilizzo [], **valore che va da 0 a 1**.

— Potenza istantanea oppure media [W] o [kW]

- **Fattore di utilizzo (k_u)** = **livello di utilizzo effettivo** della potenza nominale (istantaneo oppure mediato su un periodo di tempo).



MOTORE FIAT Grande Punto			
GENERALITÀ		1.2	1.4
Codice tipo		199A4000	350A1000
Ciclo		Otto	Otto
Numero e posizione cilindri		4 in linea	4 in linea
Diametro e corsa stantuffi	mm	70,8 x 78,86	72 x 84
Cilindrata totale	cm ³	1242	1368
Rapporto di compressione		11,1:1	11,1:1
Potenza massima (CEE)	kW CV	48 65	57 77
regime corrispondente	giri/min	5500	6000



Grandezze fisiche fondamentali

Esempio1 su energia e potenza:

Quanta energia eroga un'automobile da 100kW (136 cv) in un'ora?

- **Ferma in "garage"**



Potenza nominale (P_n) = 100 kW

Fattore di utilizzo medio (k_u) = 0

Potenza erogata media (P_m) = $0 \cdot 100 = 0$ kW

Tempo di osservazione (Δt) = 1 h = 3600s

Energia erogata (E) = $0 \cdot 1 = 0$ Wh = 0 J

- **In movimento al 50% della potenza**



Potenza nominale (P_n) = 100 kW

Fattore di utilizzo medio (k_u) = $50\% / 100 = 0,5$

Potenza erogata media (P_m) = $0,5 \cdot 100 = 50$ kW

Tempo di osservazione (Δt) = 1h = 3600s

***Energia erogata (E) = $50 \cdot 1 = 50$ kWh $\rightarrow \cdot 3600$
= 180'000 kJ = 180 MJ***

Considerazioni:

La **potenza** nominale di un macchinario è una sua **caratteristica costruttiva**.

L'**energia** erogata **dipende dall'utilizzo**.

La potenza si paga all'acquisto del macchinario, l'energia al rifornimento.

Grandezze fisiche fondamentali

Esempio 2 su energia e potenza:

- **In un'abitazione sono presenti una lavatrice con potenza nominale (massima) di 1,5kW ed un frigorifero di potenza nominale 300W (=0,3kW).**

Domanda 1: Quale dei due influirà di più sulla bolletta elettrica?

Risposta 1: Non si sa a priori, dipende dall'energia utilizzata, ossia dal tempo di utilizzo.

Domanda 2: Considerando che la lavatrice è accesa per 6 ore a settimana a metà potenza, mentre il frigo per 24 ore al giorno a 1/3 della potenza massima, calcolare l'energia annuale assorbita dai due elettrodomestici.

Risposta 2:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{lavatrice}} &= \boxed{1,5} \cdot \boxed{0,5} \cdot \boxed{6 / 7} \cdot \boxed{365} = 234 \text{ kWh/anno} \\
 E_{\text{frigo}} &= \boxed{0,3} \cdot \boxed{1/3} \cdot \boxed{24} \cdot \boxed{365} = 876 \text{ kWh/anno}
 \end{aligned}$$

Fattore di utilizzo k_u Giorni dell'anno [g/anno]
 Potenza nominale [kW] Ore di utilizzo al giorno [h/g]

Il frigo consuma quasi 4 volte di più della lavatrice pur avendo una potenza 5 volte inferiore → dipende dal tempo di accensione!

Grandezze fisiche fondamentali

Esempio 3 su energia e potenza:

- *Un ospedale da campo in Congo ha un impianto a pannelli fotovoltaici stand-alone che produce mediamente 40 kWh/giorno di energia elettrica. L'ospedale deve essere attivo 24 ore al giorno.*

Domanda 1: *Quanta potenza può essere assorbita mediamente dalle apparecchiature elettriche dell'ospedale?*

Risposta 1: *Per trovare P_m basta utilizzare le equazioni delle slide precedenti:*

$$P_m = 40 / 24 = \mathbf{1,67 \text{ kW}}$$

Domanda 2: *Se invece, per la sala operatoria, c'è bisogno di assorbire 3kW per almeno 4 ore al giorno, il sistema ce la fa? Se sì, quanta potenza resta disponibile mediamente per gli altri utilizzi?*

Risposta 2: *Prima calcoliamo quanta energia serve per la sala operatoria.*

$$E_{\text{sala.op.}} = 3 \cdot 4 = 12 \text{ kWh/giorno} \rightarrow 12 < 40 \text{ perciò il sistema ce la fa.}$$

Vediamo quindi quanta energia resta disponibile per gli altri utilizzi:

$$E_{\text{disponibile}} = 40 - 12 = 28 \text{ kWh/giorno}$$

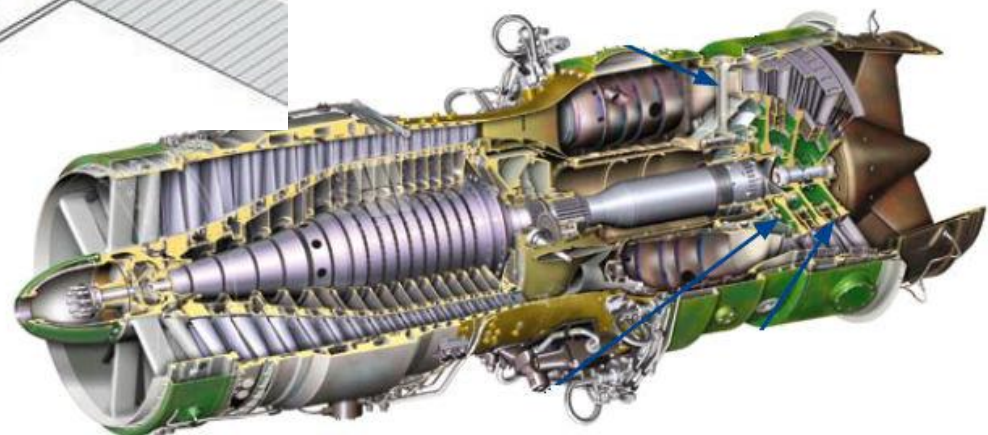
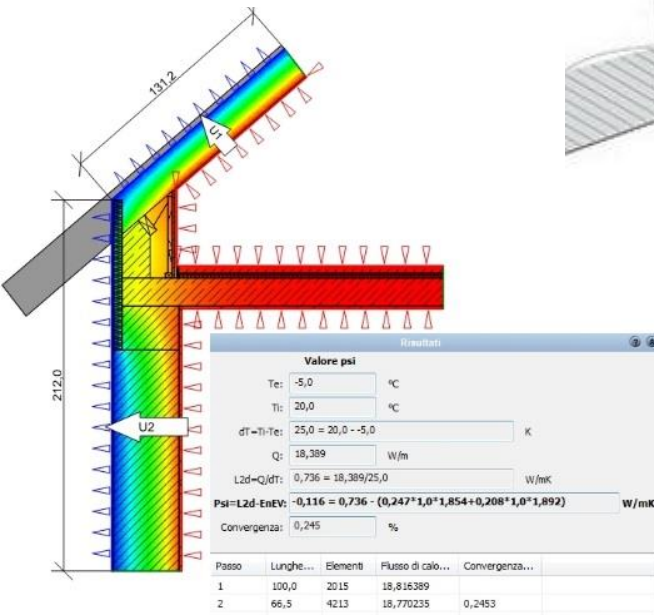
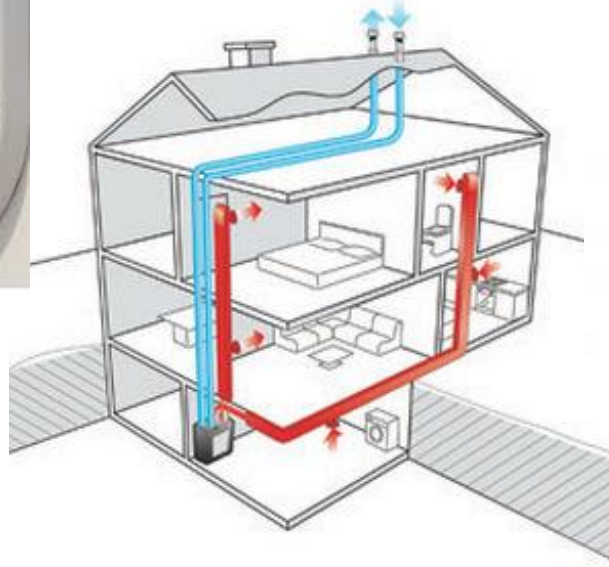
Ora possiamo ripetere il calcolo della prima domanda:

$$P_{m,\text{altri_utilizzi}} = 28 / 24 = \mathbf{1,17 \text{ kW}}$$

Sistemi termodinamici

DEFINIZIONE DI TERMODINAMICA:

- Parte della fisica che studia i processi implicanti **scambi e conversioni di energia** nelle diverse forme.



Sistemi termodinamici

SISTEMA TERMODINAMICO:

- **Porzione di spazio separata dall'ambiente esterno** (universo termodinamico) mediante una **superficie di confine**.

PROPRIETA':

- La superficie di confine può essere reale o immaginaria, rigida o deformabile.
- Il sistema può essere:
 - **aperto**, se può scambiare massa ed energia con l'esterno;
 - **chiuso**, se non può scambiare massa con l'esterno (ma può scambiare energia);
 - **adiabatico**, se non può scambiare energia con l'esterno (ma può scambiare massa);
 - **isolato**, se non può scambiare nè massa nè energia con l'esterno.



Sistemi termodinamici

APPROCCI DI STUDIO

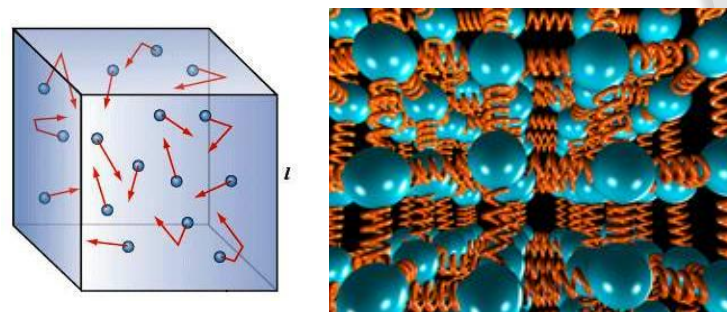
- Ogni sistema termodinamico può essere studiato secondo **due approcci**:

MACROSCOPICO



- Si studiano gli effetti macroscopici ignorandone le cause microscopiche.
- Le variabili sono in numero limitato ed esprimono valori medi.

MICROSCOPICO



- Si considera il comportamento microscopico della materia.
- Le variabili potrebbero essere infinite: necessario un approccio statistico

NOI CI OCCUPIAMO DI QUESTO

Grandezze termodinamiche

- Variabili **macroscopiche** del sistema termodinamico.
- Classificazione delle grandezze:
 1. Per estensività/intensività

Sono **estensive** se proporzionali alla quantità di materia.
(Esempio: **massa, volume, energia interna, entropia, entalpia, calore, lavoro**, ecc)

Sono **intensive** se indipendenti dalla quantità di materia.
(Esempio: **temperatura, pressione, densità, concentrazione**, ecc)
 2. Per dipendenza dalle trasformazioni

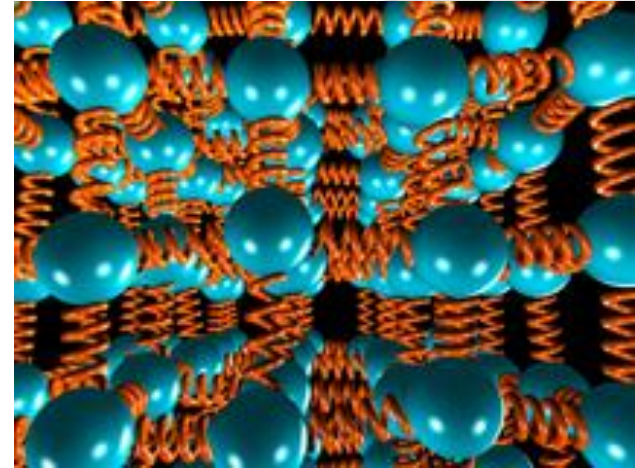
Sono "funzioni di stato" se la loro variazione non dipende dal tipo di trasformazione ma solo dai valori iniziale e finale.
(Esempio: **temperatura, pressione, volume, densità, concentrazione, energia interna, entropia, entalpia**, ecc)

Non sono "funzioni di stato" se la loro variazione dipende dal tipo di trasformazione. (Esempio: scambi di **calore e lavoro**)
- Le grandezze funzioni di stato (dette brevemente "**grandezze di stato**") definiscono lo stato di un sistema.

Grandezze termodinamiche

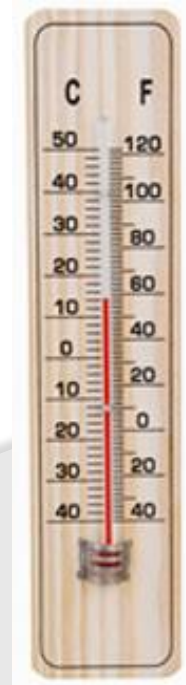
CALORE

- **Calore (Q) = energia termica** = energia legata all'**agitazione termica**, ossia alla "vibrazione" delle particelle microscopiche (atomi, molecole, ioni, ecc).
- Estensiva, non funzione di stato.
- Si misura in **Joule [J]** o **Wattora [Wh]** o calorie [cal], come tutte le altre energie.



TEMPERATURA

- **Temperatura (T) = indice del grado di agitazione** termica delle particelle, quindi dell'energia termica posseduta dal corpo misurato.
- E' una grandezza macroscopica che descrive bene un fenomeno microscopico.
- Intensiva, funzione di stato.
- Si misura in **Kelvin [K]** oppure in gradi **Celsius [°C]**.



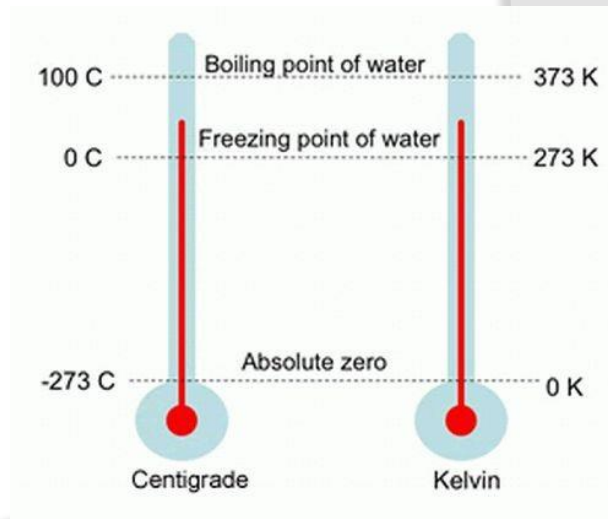
Grandezze termodinamiche

TEMPERATURA, SCALA KELVIN

- La temperatura nel **sistema internazionale** si misura in **Kelvin**.
- Si scrive '**K**' **senza il simbolo °**, per esempio 200 K, non ~~200 °K~~.
- La temperatura in Kelvin è detta **temperatura assoluta**, poiché non è possibile immaginare una temperatura inferiore allo **zero assoluto** (0 K).
- Zero Kelvin = tutte le particelle sono assolutamente immobili, non è possibile che siano più ferme di così.

TEMPERATURA, SCALA CELSIUS

- La scala **Celsius** (detta anche centigrada) si riferisce invece alle temperature di **passaggio di stato dell'acqua** (0°C = congelamento, 100°C = ebollizione, con pressione standard di 101'325 Pa).
- La **conversione** tra Celsius e Kelvin è la seguente:
 $0^{\circ}\text{C} = 273,16\text{ K} \rightarrow 0\text{ K} = -273,16^{\circ}\text{C}$
- La **differenza di temperatura** in Celsius e Kelvin resta **identica** poiché le scale sono equivalenti:
 $\Delta T_{[^{\circ}\text{C}]} = \Delta T_{[\text{K}]}$.



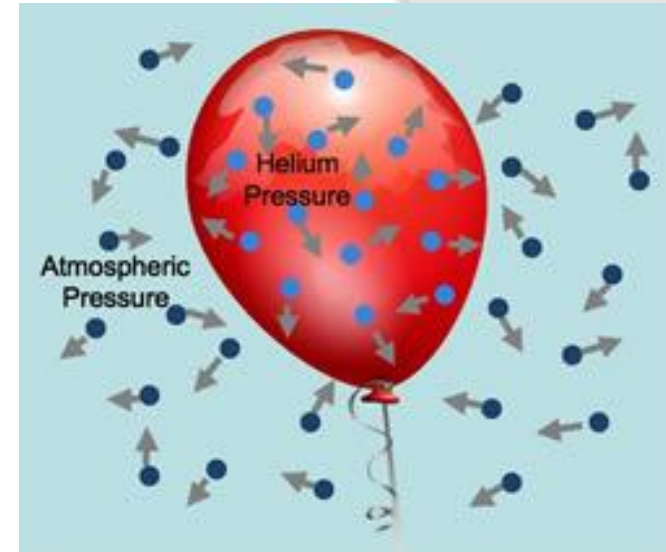
Grandezze termodinamiche

PRESSIONE

- **Pressione (p) = forza per unità di superficie:**

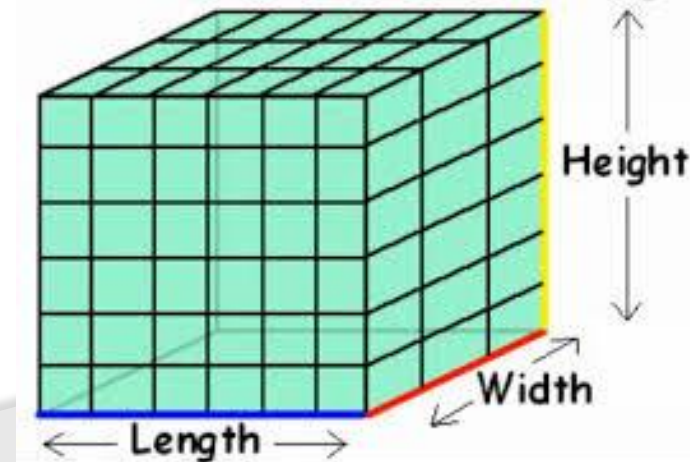
$$p = \frac{\vec{F}}{A} \quad (\text{Pressione} = \text{Forza} / \text{Area})$$

- Indica con quanta forza le particelle interne al sistema premono sulla superficie di confine.
- Intensiva, funzione di stato.
- Si misura in **Pascal [Pa]**=[N/m²] o atmosfere [atm] o bar [bar].



VOLUME

- **Volume (V) = spazio racchiuso da una superficie di confine.**
- Estensiva, funzione di stato.
- Si misura in **metri cubi [m³]** oppure in litri [l].
- 1 m³ = 1000 l



Grandezze termodinamiche

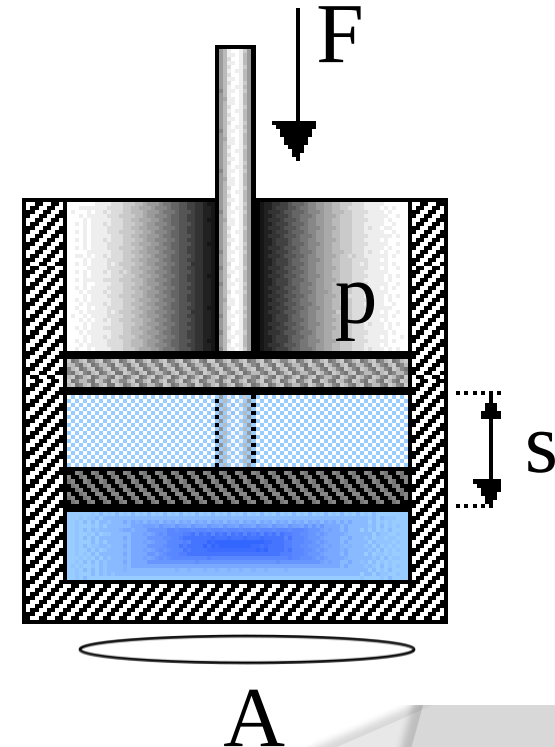
LAVORO

- In **termodinamica** (diversamente dalla meccanica) il lavoro è più spesso definito come **"pressione per variazione di volume"**:

$$L = p \cdot \Delta V$$

• Variazione di volume [m^3]
 • Pressione [Pa] = [N/m^2]
 • Lavoro termodinamico [$\text{Pa} \cdot \text{m}^3$] = [$\text{N} \cdot \text{m}$] = [J]

- Si può dimostrare che **le due definizioni di lavoro** (della meccanica e della termodinamica) **sono equivalenti**:
 se si considera che: $p = F/A$, allora $F = p \cdot A$;
 sostituendo nella formula del lavoro meccanico:
 $L = F \cdot s = p \cdot A \cdot s$;
 però $A \cdot s$ è una variazione di volume poiché è un'area moltiplicata per una lunghezza variabile, quindi:
 $L = p \cdot \Delta V$;



Grandezze termodinamiche

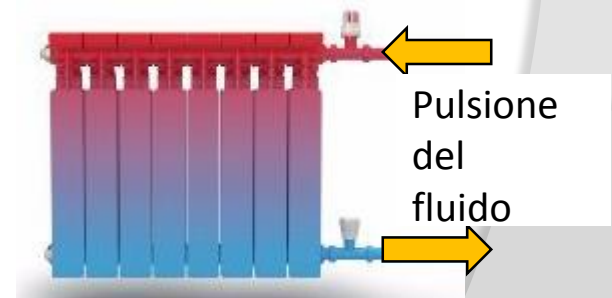
SISTEMI APERTI: LAVORO TERMODINAMICO, TECNICO E DI PULSIONE

- Solo nei **sistemi aperti**, all'interno del lavoro termodinamico, è **presente una componente (lavoro di pulsione)** necessaria a far scorrere il fluido nel sistema.
- Tale componente svolge solo il ruolo di mantenere il flusso, perciò non partecipa ad altre trasformazioni, non è lavoro "utile".
- La restante parte (**lavoro di tecnico**) è invece disponibile per eventuali trasformazioni o scambi termodinamici, è lavoro "utile".

PER SISTEMI APERTI:

$$L = L_{tec} + L_{puls}$$

Diagram illustrating the equation $L = L_{tec} + L_{puls}$ for open systems. The equation is enclosed in a box. A line points from the text "Lavoro di pulsione [J]" to the L_{puls} term. Another line points from the text "Lavoro tecnico [J]" to the L_{tec} term. A third line points from the text "Lavoro termodinamico [J]" to the L term.



Grandezze termodinamiche

CAPACITA' TERMICA

- **Capacità termica** = **rapporto** tra il **calore** fornito (o sottratto) ad un corpo ed il suo aumento (o diminuzione) di **temperatura**, oppure, in altre parole, è l'energia necessaria per innalzare di **1K** la temperatura di quel corpo.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad \left[\frac{J}{K} \right]$$

- Esprime la capacità di un corpo di **accumulare energia** termica.
- Corpi con elevate capacità termiche necessitano di **più energia** (fornita) **per riscaldarsi** e **più energia** (sottratta) **per raffreddarsi**.
- Grandezza estensiva, funzione di stato.
- Si misura in **Joule/Kelvin [J/K]**.

Grandezze termodinamiche

CALORE SPECIFICO (nei corpi solidi e liquidi)

- **Calore specifico** = **rapporto** tra il **calore** fornito (o sottratto) per **unità di massa** di una sostanza ed il suo **aumento** (o diminuzione) di **temperatura**, oppure, in altre parole, è l'**energia necessaria per innalzare di 1K** la temperatura di **1kg** di quella sostanza.
- Il **calore specifico** è quindi pari alla capacità termica diviso la massa del corpo.

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{C}{m} \quad \left[\frac{J}{kgK} \right]$$

- Grandezza intensiva funzione di stato.
- Si misura in **Joule/kg Kelvin [J/kgK]**.
- Nei **gas** dipende dalla trasformazione, perciò vi sono diversi valori (a pressione costante c_p oppure a volume costante c_v).
- Essendo una proprietà dei materiali, i valori possono essere trovati nelle **tabelle delle norme tecniche o dei produttori** (ved. slide successiva).

Calore specifico per alcune sostanze:

Sostanza	<u>Stato</u>	Calore specifico a pressione costante (c_p) [J/kgK]
<u>Alluminio</u>	solido	880
<u>Acciaio inox</u>	solido	502
<u>Acqua</u>	liquido	4186
Acqua (<u>Ghiaccio</u>)	solido (0 °C)	2090
<u>Aria</u> (secca)	gassoso	1005
<u>Aria</u> (100% umidità relativa)	gassoso	~ 1030
<u>Azoto</u>	gassoso	1042
<u>Elio</u>	gassoso	5190
<u>Ferro</u>	solido	444
<u>Idrogeno</u>	gassoso	14435
<u>Olio</u>	liquido	~ 2000
<u>Ossigeno</u>	gassoso	920
<u>Oro</u>	solido	129
<u>Ottone</u>	solido	377
<u>Piombo</u>	solido	130
<u>Polistirene</u>	solido	1450
<u>Rame</u>	solido	385

Condizioni standard (salvo diversa indicazione) ossia $T = 0^\circ\text{C}$, $P = 100 \text{ kPa}$.
 Per i solidi il valore del calore specifico a pressione costante coincide col
 calore specifico a volume costante

Tabella I – Caratteristiche termofisiche dei più comuni materiali utilizzati nell'edilizia (fonte: UNI 10351)

Tipologia	Descrizione del materiale		ρ (kg/m ³)	k (W/mK)	c _p (kJ/kgK)	β (m ² /s)×10 ⁻⁶
LATERIZI	Blocchi alleggeriti		600	0.25	0.84	0.496
			800	0.30	0.84	0.446
	Blocchi semipieni o forati		1200	0.43	0.84	0.427
			1600	0.59	0.84	0.439
	Mattoni pieni		1800	0.72	0.84	0.476
			2000	0.90	0.84	0.536
CALCE-STRUZZI	A STRUTTURA CHIUSA	Confezionato con aggregati naturali	2000	1.16	0.88	0.659
			2400	1.91	0.92	0.865
		Di argille espanse	1000	0.31	0.88	0.352
			1700	0.75	0.88	0.501
	A STRUTTURA APERTA	Di argille espanse	500	0.16	0.88	0.364
			1000	0.31	0.88	0.352
		Cellulare autoclavato	400	0.15	0.88	0.426
			800	0.25	0.88	0.355
		Di perlite e vermiculite	250	0.13	1.088	0.478
			400	0.15	1.38	0.272
	Calcestruzzo in genere (in mancanza di ulteriori informazioni)	400	0.19	0.88	0.540	
		600	0.24	0.88	0.455	
		800	0.30	0.88	0.426	
		1200	0.47	0.88	0.445	
		1600	0.73	0.88	0.518	
		1800	0.93	0.88	0.587	
INTONACI	Intonaco isolante di gesso		600	0.18	1.00	0.300
	Intonaco di gesso		1000	0.40	1.00	0.400
			1300	0.57	1.00	0.438
	Intonaco di gesso (o calce) e sabbia		1600	0.80	1.00	0.500
	Intonaco di cemento e sabbia		1800	1.00	1.00	0.556
MATERIALI ISOLANTI	ISOLANTI MINERALI	Fibre di vetro in pannelli rigidi	100	0.038	0.84	0.452
		Fibre minerali ottenute da loppe di altoforno in pannelli rigidi	100	0.046	0.84	0.548
		Argilla espansa in granuli	280	0.09	0.92	0.349
		Perlite espansa in granuli	100	0.066	0.84	0.786
		Vermiculite espansa in granuli	80	0.077	0.84	0.115
		Vetro cellulare espanso	150	0.060	0.84	0.476
	ISOLANTI DI SINTESI	Polietilene estruso in continuo (non reticolato)	30	0.050	2.10	0.794
		Polistirene espanso sinterizzato (in lastre ricavate da blocchi)	30	0.040	1.25	0.107
		Poliuretano (in lastre ricavate da blocchi)	32	0.032	1.30	0.769
		Poliuretano espanso in situ	37	0.035	1.30	0.728
ISOLANTI VEGETALI	Pannelli di fibre di legno duri ed extraduri	800	0.14	2.10	0.833	
	Pannelli di sughero espanso con leganti	200	0.052	2.10	0.124	
LEGNAMI	Abete (con flusso perpendicolare alle fibre)		450	0.12	1.38	0.193
	Pino (con flusso perpendicolare alle fibre)		550	0.15	1.66	0.164
	Quercia (con flusso perpendicolare alle fibre)		850	0.22	1.26	0.205
ROCCE NATURALI	Ardesia		2700	2.0	1.26	0.588
	Granito		3000	4.1	0.88	0.155
	Porfido		2200	2.9	0.84	0.157
	Tufo		2300	1.7	0.70	0.106

Grandezze termodinamiche

ESEMPI SU CAPACITA' TERMICA E CALORE SPECIFICO

- **Esempio 1: E' necessaria più energia per riscaldare 1 kg di legno o 1 kg di cemento?**

- Invertendo l'equazione della capacità termica: $Q = C \cdot \Delta T$.

- Fissiamo un ΔT qualsiasi, per esempio $\Delta T = 1^\circ\text{C}$, quindi:

$$Q_{\text{legno}} = C_{\text{legno}} \cdot 1 = C_{\text{legno}}$$

$$Q_{\text{cem}} = C_{\text{cem}} \cdot 1 = C_{\text{cem}}$$

- Calcoliamo la capacità termica invertendo l'equazione del calore specifico ($C = c \cdot m$):

$$C_{\text{legno}} = c_{\text{legno}} \cdot 1 = c_{\text{legno}} \quad \dots \text{dalle tabelle} = 1,38 \text{ kJ/K}$$

$$C_{\text{cem}} = c_{\text{cem}} \cdot 1 = c_{\text{cem}} \quad \dots \text{dalle tabelle} = 0,88 \text{ kJ/K}$$

- Quindi:

$$Q_{\text{legno}} = 1,38 \text{ kJ} \quad \rightarrow \text{Per scaldare 1kg di legno ci vuole oltre il 50\% di energia in più}$$

$$Q_{\text{cem}} = 0,88 \text{ kJ} \quad \text{rispetto al cemento! Il legno è un ottimo accumulatore di energia!}$$

- **Se invece confrontiamo 1m³ di legno e 1m³ di cemento?**

- Occorre calcolare la massa contenuta in 1m³ invertendo la formula della densità: $m = \rho \cdot V$

$$m_{\text{legno}} = \rho_{\text{legno}} \cdot 1 = 450 \text{ kg}$$

$$m_{\text{cem}} = \rho_{\text{cem}} \cdot 1 = 1200 \text{ kg} \quad \dots \text{facendo i conti come sopra....}$$

$$Q_{\text{legno}} = 621 \text{ kJ} \quad \rightarrow \text{Per scaldare 1m}^3 \text{ di cemento ci vuole oltre il 70\% di energia in più}$$

$$Q_{\text{cem}} = 1056 \text{ kJ} \quad \text{rispetto al legno! A parità di volume accumula più il cemento.}$$

Grandezze termodinamiche

ESEMPI SU CAPACITA' TERMICA E CALORE SPECIFICO

• **Esempio 2:** Qual è la **temperatura di equilibrio** di due corpi in contatto?

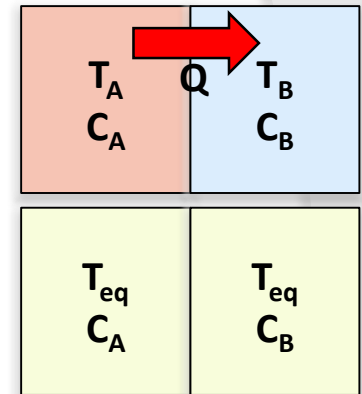
- Il calore fluisce dal corpo caldo (A) a quello freddo (B).
- Se non ci sono dispersioni il calore perso dal corpo A (-Q) va tutto sul corpo B (Q).
- La variazione di temperatura dei due corpi si può trovare invertendo la formula della capacità termica: $\Delta T = \frac{Q}{C}$

$$\Delta T_A = \frac{-Q}{C_A} \quad e \quad \Delta T_B = \frac{Q}{C_B}$$

- Sappiamo inoltre che la temperatura di equilibrio (T_{eq}) sarà unica e pari a: $T_{eq} = T_A + \Delta T_A = T_B + \Delta T_B$
- Combinando le equazioni sopra (dopo lunghi calcoli) si ottiene la **formula generale**:

$$T_{eq} = \frac{T_A C_A + T_B C_B}{C_A + C_B} \quad [K]$$

ATTENZIONE!!!
Qui gradi Kelvin!!



• **Esempio 3:** Immergendo un oggetto di alluminio di 2 kg a 100°C dentro 2 litri di acqua a 20°C quale sarà la temperatura di equilibrio?

- Calcoliamo le capacità termiche: $C_{pentola} = c_{metallo} \cdot m_{pentola} = 880 \cdot 2 = 1760 \text{ J / K}$

$$C_{acqua} = c_{acqua} \cdot m_{acqua} = c_{acqua} \cdot V_{acqua} \cdot \rho_{acqua} = 4186 \cdot 2 \cdot 1 = 8372 \text{ J / K}$$

$$T_{eq} = \frac{373 \cdot 1760 + 293 \cdot 8372}{1760 + 8372} \cong 307 \text{ K} \cong 34^\circ \text{C}$$

Relazioni tra le grandezze termodinamiche

EQUAZIONI DI STATO

- Per definire lo **stato (di equilibrio)** di un sistema, non è necessario specificare i **valori di tutte le sue grandezze di stato**.
- Tali grandezze non sono fra loro del tutto indipendenti, ma sono **legate da un certo numero di relazioni** che possono essere espresse in forma analitica chiamate **equazioni di stato del sistema** o equazioni caratteristiche.
- Se indichiamo genericamente con $x_1, x_2, \dots, x_n$ le **grandezze di stato**, allora un'equazione di stato viene posta nella forma:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

- Le equazioni di stato possono essere più o meno complesse a seconda del sistema termodinamico considerato.
- Le vedremo nel dettaglio in **psicrometria**.

Equilibrio e trasformazioni

EQUILIBRIO TERMODINAMICO

- Un sistema si dice in **equilibrio termodinamico** se le **variabili di stato** sono ben definite e non variano nel tempo.
- L'equilibrio termodinamico è costituito da una **sovrapposizione di tre equilibri**:
 1. **Equilibrio meccanico**: quando internamente al sistema o fra il sistema e l'esterno esistono equilibri di forze (es: equilibrio di pressioni interne e interne/esterne).
 2. **Equilibrio termico**: quando non varia lo stato termico del sistema (es: temperatura uguale in tutto il sistema e uguale a quella del mezzo esterno a contatto termico con esso).
 3. **Equilibrio chimico**: quando non tende ad avvenire in esso alcuna modificazione di struttura (es: reazioni chimiche, fenomeni di soluzione).
- Se il sistema non è in equilibrio si ha una **trasformazione termodinamica**.

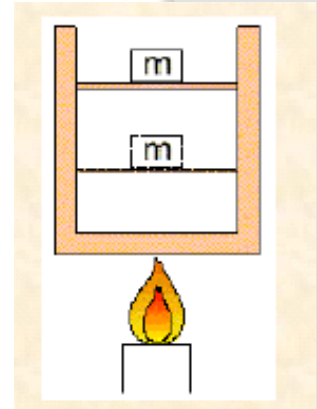
Equilibrio e trasformazioni

TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE

- **Trasformazione termodinamica**: processo tramite il quale un sistema termodinamico passa **da uno stato di equilibrio termodinamico ad un altro**.

Esempio:

Un gas racchiuso in un recipiente con un pistone, riscaldato da una sorgente di calore esterna, si espande e solleva il pistone.



- Durante la trasformazione le grandezze di stato variano ma sono definibili in tutti gli istanti della trasformazione **solo se questa è composta da infiniti stati di equilibrio (trasformazione quasi-statica)**, altrimenti sono definibili solo nei punti di equilibrio iniziale e finale.

Esempio:

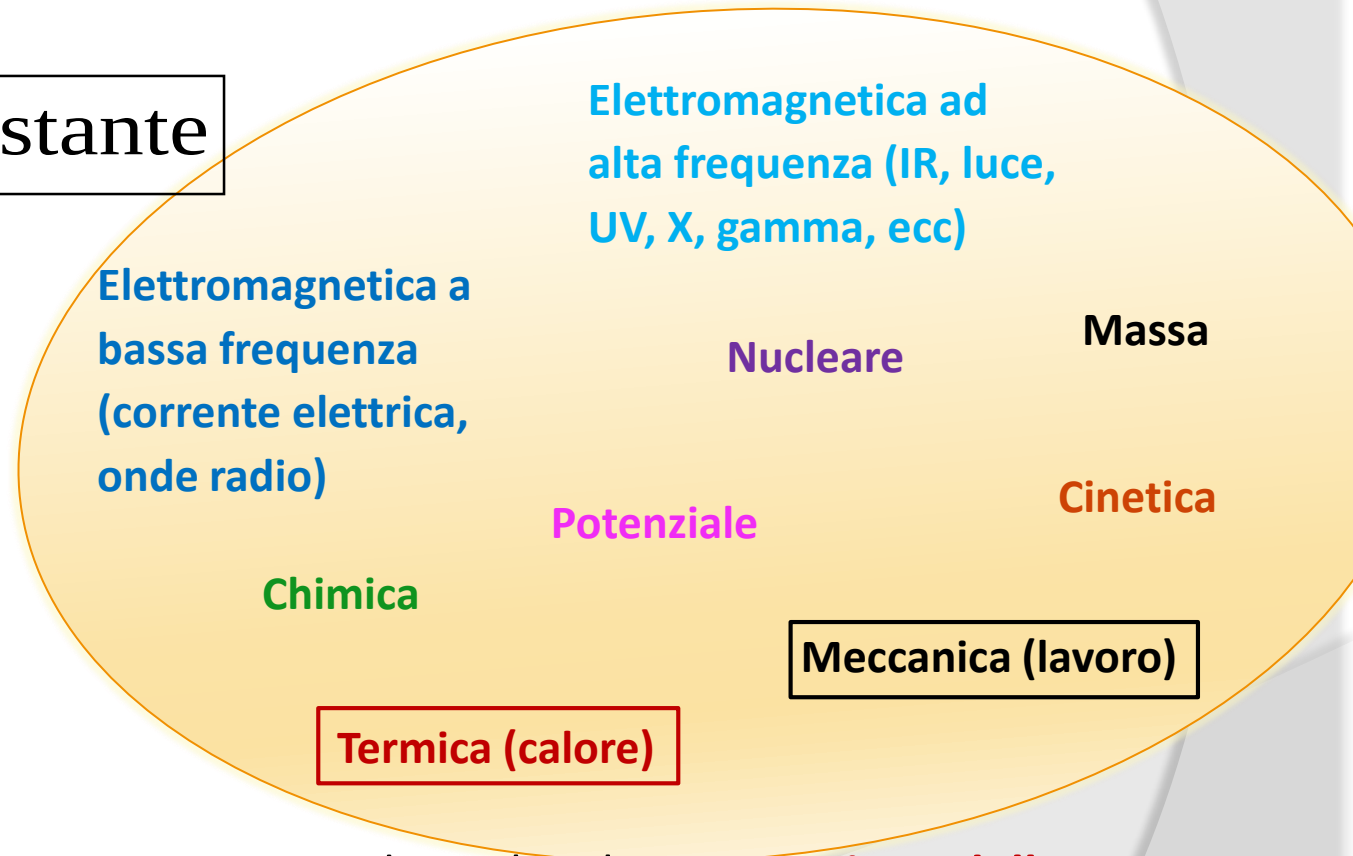
La trasformazione dell'esempio precedente è "quasi statica" solo se la temperatura interna del cilindro è uguale in ogni punto. Nella realtà la parte vicina alla fiamma sarà più calda del resto: non è possibile definire un solo valore per la variabile di stato "temperatura interna".

1° Principio della termodinamica

CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA E DELLA MASSA

Nell'universo **l'energia non si crea e non si distrugge**, ma può **trasformarsi** in forme diverse.

$$E_{\text{universo}} = \text{costante}$$



La conservazione dell'energia comprende anche al **conservazione della massa** (principio di **Lavoisier**) in quanto Einstein dimostrò che **la massa è energia**:

$$E = mc^2.$$

1° Principio della termodinamica

CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA E DELLA MASSA

Esempio 1

Il sig. Rossi ha l'idea di mettere una piccola pala eolica fuori dalla sua auto per creare energia durante il movimento.

E' un'idea geniale?

Chi "paga" l'energia elettrica prodotta dalla pala eolica?

La natura non regala energia....

la pala eolica aumenta un po' la resistenza all'aria dell'auto (rovina l'aerodinamicità), quindi l'energia la paga sempre il sig. Rossi sotto forma di un aumento dei consumi.



1° Principio della termodinamica

CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA E DELLA MASSA

Esempio 2

Pierino in bici segue da vicino un camion per prenderne la “scia” e faticare di meno.

E' una buona idea?

Chi fornisce l'energia risparmiata da Pierino?

E' una buona idea perché Pierino fatica di meno, ma la sua fatica risparmiata non è regalata dalla natura, bensì la paga dal camionista sotto forma di un piccolo aumento dei consumi.



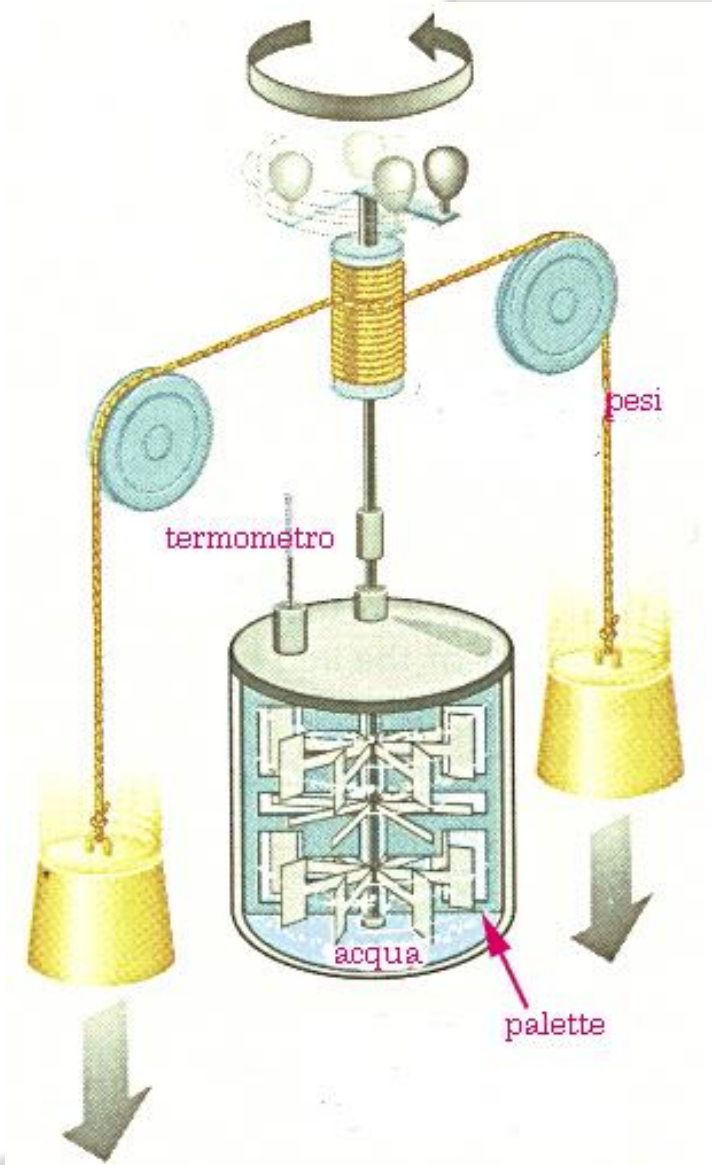
1° Principio della termodinamica

ESPERIENZA DI JOULE

- James Prescott **Joule** nel 1843 **dimostrò la conservazione dell'energia meccanica e termica** all'interno di un sistema isolato.
- L'energia meccanica fornita attraverso un mulinello si trasforma integralmente in energia termica, provocando l'innalzamento di temperatura del liquido agitato.
- Ciò ha permesso di legare due forme di energia prima ritenute indipendenti, mediante un **fattore di conversione costante** (**equivalente meccanico del calore**):

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ Joule}$$

P.S. In passato la caloria veniva utilizzata come misura dell'energia termica, mentre il Joule per l'energia meccanica. Ora la caloria è in disuso.

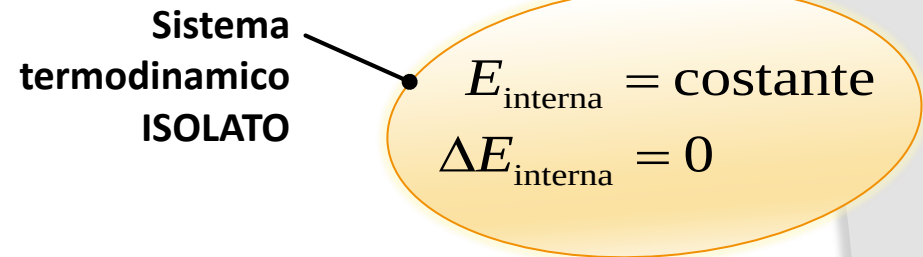


1° Principio della termodinamica

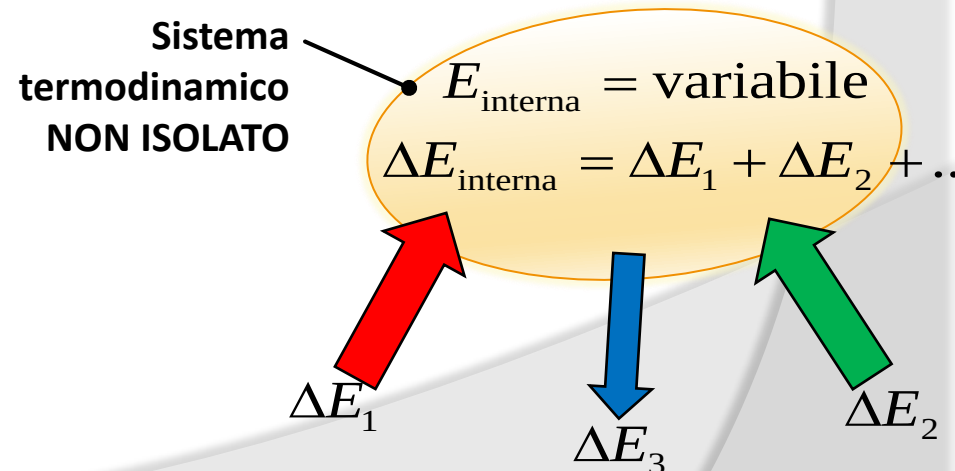
CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA E DELLA MASSA

Se invece di considerare l'intero universo ci **limitiamo ai sistemi termodinamici**:

- Solo nei **sistemi isolati** l'energia interna è costante.



- In generale, nei **sistemi non isolati**, l'energia interna varia in base ai flussi scambiati con l'esterno.



- L'**energia complessiva** dell'universo resta comunque **costante**.

1° Principio della termodinamica

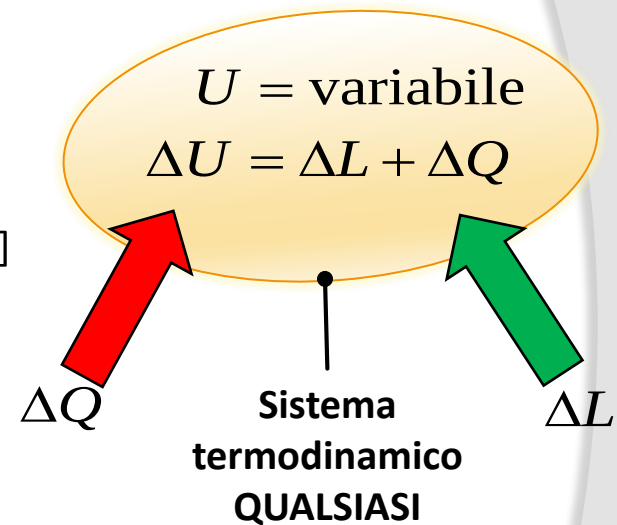
CONSERVAZIONE DI CALORE E LAVORO

- Il **1° principio** della termodinamica assume una forma tipica se si considerano solo l'energia termica (**calore**) e l'energia meccanica (**lavoro**), che sono quelle più utilizzate in termodinamica:

$$\Delta L + \Delta Q = \Delta U$$

Diagram illustrating the equation $\Delta L + \Delta Q = \Delta U$ with labels:

- ΔL : Apporto di lavoro termodinamico [J/kg]
- ΔQ : Apporto di calore [J/kg]
- ΔU : Variazione di energia interna [J/kg]

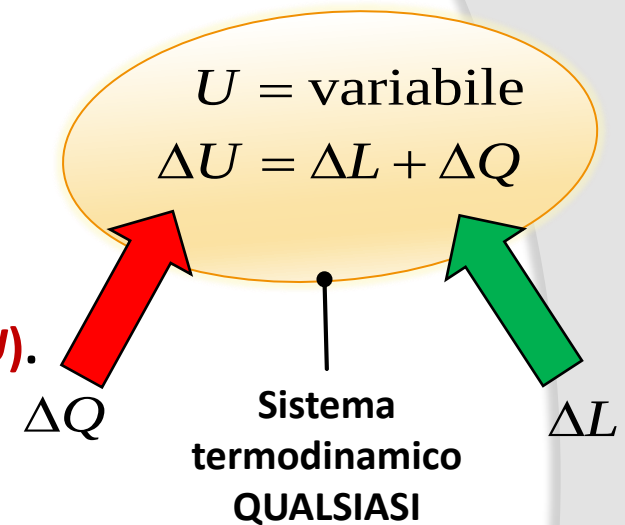


- Nel caso particolare dei sistemi isolati: $\Delta L = \Delta Q = 0 \rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow U = \text{costante}$.

Altre grandezze termodinamiche

ENERGIA INTERNA

- **Energia interna (U)** = **energia complessiva** per unità di massa **contenuta** in un sistema;
- **Varia solo** attraverso **scambi energetici** con l'esterno;
- **Non si può sempre calcolare** (e non interessa) **in senso assoluto (U)** ma solo come **variazione (ΔU)**.
- Essendo energia per unità di massa si misura in **[J/kg]** o **[Wh/kg]**.
- E' una grandezza intensiva e funzione di stato.



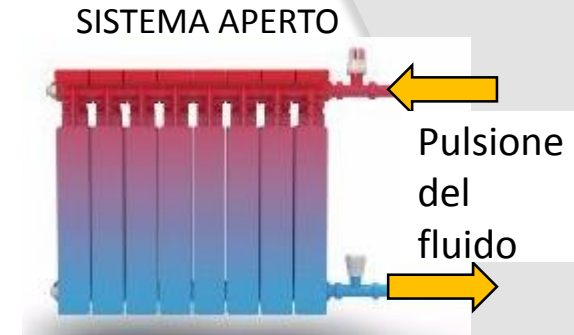
Domanda:

L'energia interna di un sistema è tutta utilizzabile per i nostri scopi?
Dipende dal sistema...

Altre grandezze termodinamiche

ENTALPIA

- Come visto in precedenza, nei sistemi aperti è presente il **lavoro di pulsione** che svolge solo il ruolo di "spingere" il fluido, perciò non partecipa ad altre trasformazioni, **non è lavoro "utile"**.
- Quindi l'**energia interna**:
 - nei sistemi chiusi è tutta utile;
 - nei sistemi aperti non è tutta utile.
- Per quantificare l'**energia utile complessiva** contenuta in un sistema aperto è stata creata la grandezza **entalpia**.
- **Entalpia (h) = Energia utile complessiva contenuta in un sistema aperto.**
 - E' **energia per unità di massa**, quindi si misura in [J/kg] o [Wh/kg].
 - E' una grandezza intensiva e funzione di stato.



1° Principio della termodinamica rivisitato

CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA UTILE

- Ai fini pratici è utile riformulare il **1° principio della termodinamica** considerando solo l'**energia utile** (esclusa quella di pulsione):

SISTEMI CHIUSI

$$\Delta L + \Delta Q = \Delta U$$

Variazione di energia interna [J/kg]

Apporto di lavoro termodinamico [J/kg]

Apporto di calore [J/kg]

SISTEMI APERTI

$$\Delta L_{tec} + \Delta Q = \Delta h$$

Variazione di entalpia [J/kg]

Apporto di lavoro tecnico [J/kg]

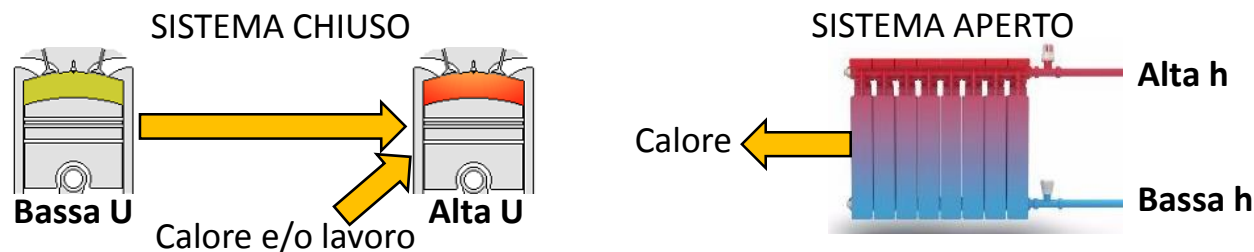
Apporto di calore [J/kg]

- Per entrambi i sistemi: l'**energia utile** (U o h) varia solo in caso di scambi di **lavoro** (ΔL o ΔL_{tec}) e/o **calore** (ΔQ).
- D'ora in poi si parlerà quasi solo di sistemi aperti.

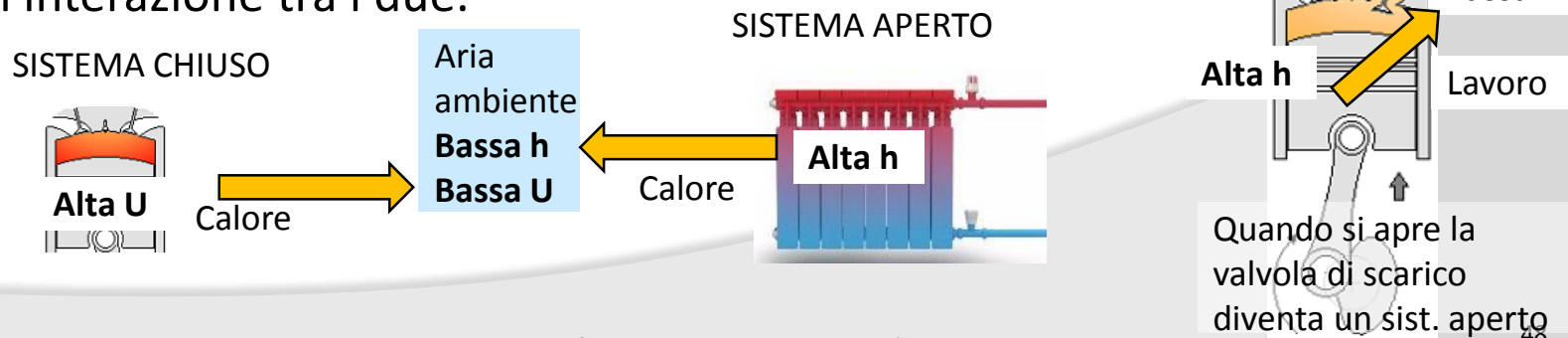
1° Principio della termodinamica rivisitato

SENSO FISICO DI ENERGIA INTERNA ED ENTALPIA

- Il calcolo di 'U' ed 'h' viene effettuato in **modo diverso a seconda del tipo di sistema sotto analisi** (si vedrà dopo).
- Dal punto di vista pratico non è molto utile conoscere i valori assoluti di U ed H ma piuttosto le **differenze (ΔU e Δh)**:
 - la **variazione nel tempo** di entalpia o energia interna indica l'**energia utile complessivamente fornita o sottratta al sistema**;



- la **differenza** di entalpia o energia interna **tra due sistemi** indica l'**energia complessivamente disponibile e utilizzabile** nell'interazione tra i due.



2° Principio della termodinamica

DOMANDA...

Nel mulinello di Joule l'energia **meccanica** viene trasformata integralmente in energia **termica**.... è possibile il **contrario**?

...in altre parole: è possibile far girare il mulinello scaldando l'acqua in esso contenuta?

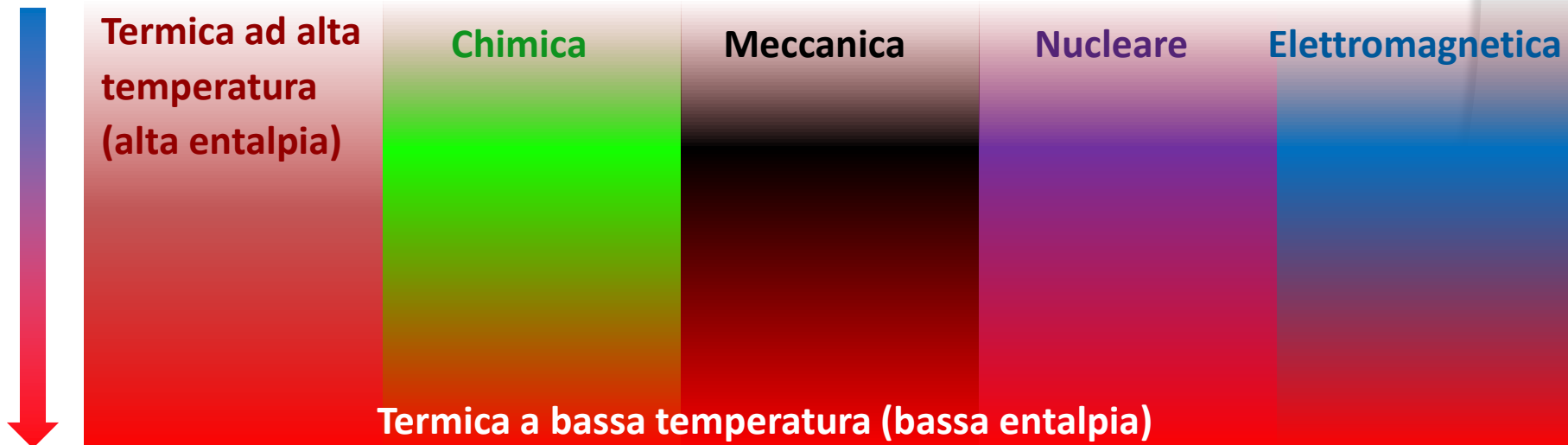
...in altre parole ancora: **le trasformazioni di energia hanno una direzione predefinita oppure sono reversibili?**

2° Principio della termodinamica

DIREZIONE DELLE TRASFORMAZIONI

- Ogni sistema evolve **spontaneamente** verso una situazione di **maggiore disordine** (entropia).
- Ad ogni trasformazione il sistema perde progressivamente la possibilità di trasformarsi ulteriormente perché **le energie presenti tendono a degradarsi** verso una forma inutilizzabile (calore a bassa temperatura).
- Ogni forma di energia può trasformarsi integralmente in **calore**, ma non viceversa.

Alto pregio (bassa entropia)

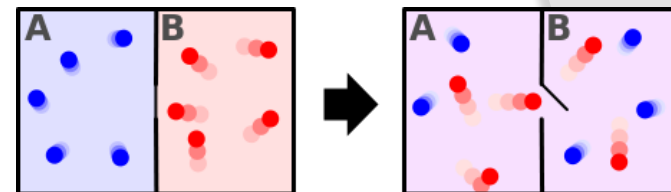


Basso pregio (alta entropia)

2° Principio della termodinamica

ENTROPIA

- **Entropia (S)** = grado di "**disordine**" di un sistema termodinamico.
- Indica la **degradazione** della possibilità di un sistema a produrre **lavoro** (più entropia = meno lavoro), quindi indica la vicinanza della "**morte termica di un sistema**".
- Per il secondo principio della termodinamica l'**entropia dell'universo aumenta inesorabilmente ad ogni trasformazione**.
- Grandezza intensiva funzione di stato.
- Non interessa molto il valore assoluto di S, ma piuttosto la **variazione** durante una trasformazione ΔS :



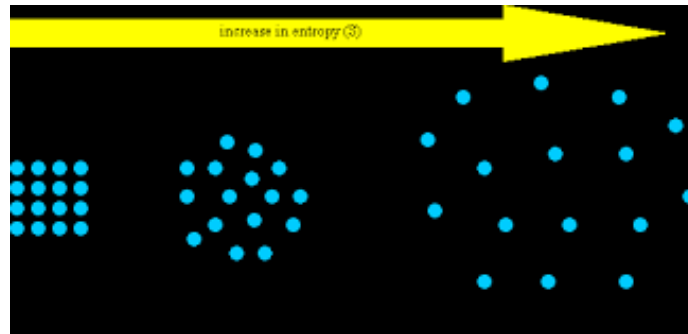
$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

— Apporto di calore [J/kg]
 — Temperatura alla quale avviene l'apporto di calore [K]
 — Variazione di entropia [J/K]

2° Principio della termodinamica

ENTROPIA

- Il concetto può essere **generalizzato** anche a sistemi non strettamente termodinamici: la statistica dice che **gli stati disordinati sono più probabili di quelli ordinati**.



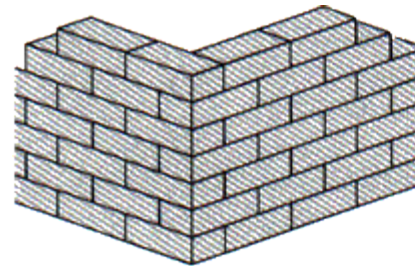
(a)



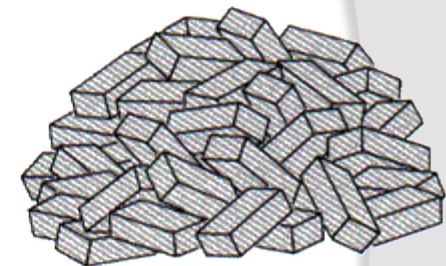
(b)



(c)



(a)



(b)

- Domanda.** Se si costruisce un muro a partire da una catasta di mattoni l'entropia aumenta o diminuisce?
- Risposta.** Il muro è più ordinato dei mattoni sparsi, perciò nel sistema "edificio" l'entropia diminuisce. Per farlo, però, è necessario lo sforzo del muratore. Se si facesse una misura si vedrebbe che l'entropia globale dell'universo è comunque aumentata.

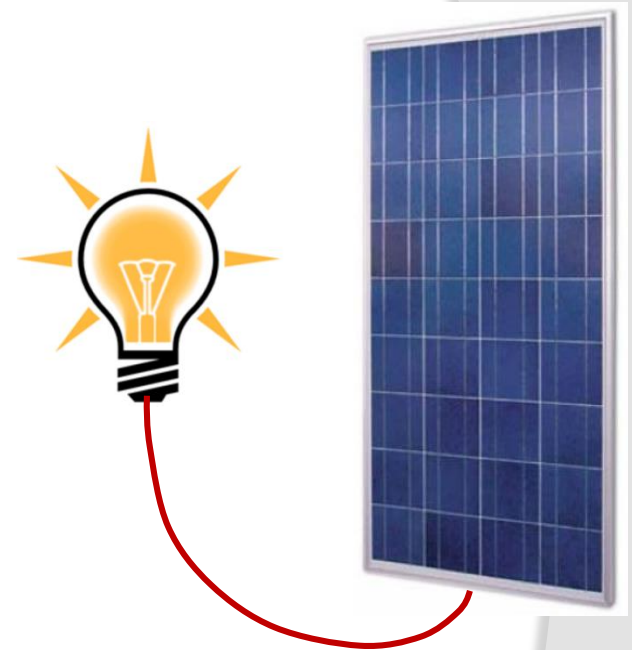
2° Principio della termodinamica

DEGRADAZIONE DELL'ENERGIA

Esempio

*Si collega una lampadina ad un pannello fotovoltaico. Avendo cura che tutta la luce della lampada colpisca il pannello, **si potrebbe permettere alla lampada di rimanere sempre accesa?***

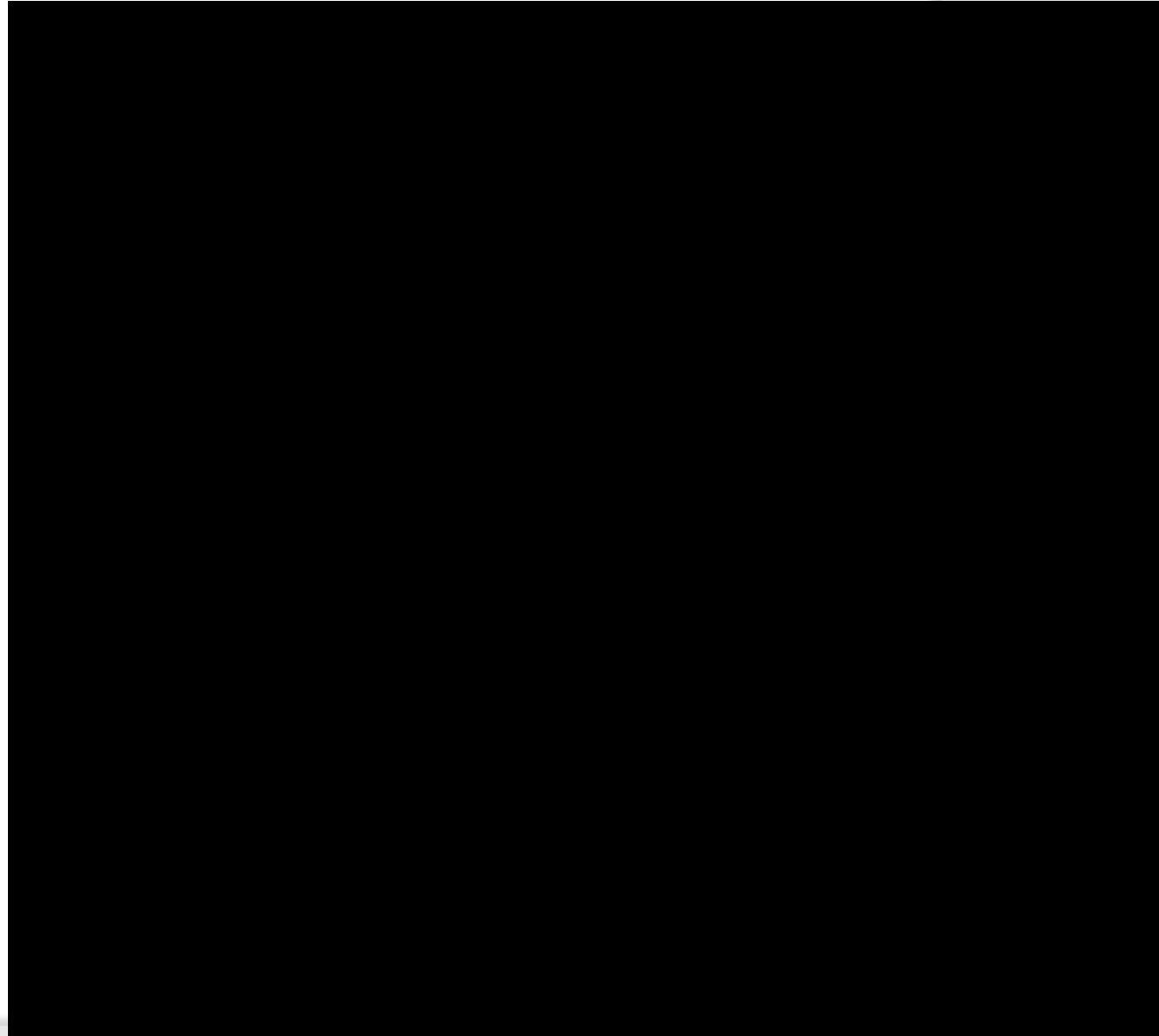
NO!! Nei sistemi reali ci sono continue perdite di energia sotto forma termica (riscaldamento conduttori, riscaldamento lampadina, riscaldamento pannello, ecc) quindi **la lampadina si spegnerebbe quasi subito!**



2° Principio della termodinamica

FINE DI UN SOGNO

Il primo e il secondo principio della termodinamica dimostrano la non fattibilità di una forma di energia rinnovabile potenzialmente rivoluzionaria!



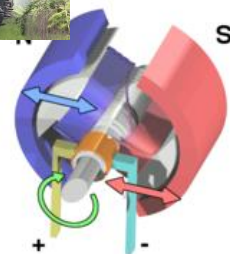
2° Principio della termodinamica

DIREZIONE PREFERENZIALE DELLE TRASFORMAZIONI

- La conversione tra diverse forme di energia può essere molto **semplice** se si tratta di trasformazioni **spontanee** (che seguono la direzione dell'entropia crescente) oppure necessita di macchine sofisticate se si vuole andare nel verso contrario all'entropia.

ALCUNE TAPPE DELL'EVOLUZIONE ENERGETICA..

- **Da sempre**: conversione dell'energia gravitazionale in energia cinetica (reaz. spontanea senza bisogno di macchine)
- **Da 2 milioni di anni**: conversione dell'energia chimica in energia termica attraverso il fuoco (reaz. indotta e poi spontanea)
- **Da 250 anni**: conversione dell'energia termica in energia meccanica attraverso il motore a vapore (trasf. non spontanea, strum. avanzati)
- **Da 150 anni**: conversione dell'energia meccanica in energia elettrica attraverso la dinamo (trasf. non spontanea, strum. avanzati)



Reversibilità delle trasformazioni

TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE REVERSIBILI

- Una trasformazione termodinamica è **reversibile** se è possibile percorrerla in **senso opposto** (cioè tornare allo stato iniziale) senza comportare cambiamenti nel sistema e nell'Universo termodinamico, ossia **senza aumenti di entropia**.
- Le trasformazioni **quasi-statiche** hanno la proprietà di essere **sempre reversibili** (sono **trasformazioni ideali**, nella realtà l'entropia aumenta sempre).
- Più le trasformazioni sono violente più vi è un incremento di entropia e quindi un degrado dell'energia del sistema.

Esempio:

Nell'esempio del pistone la trasformazione non era reversibile: non è possibile ripristinare la cera della candela una volta che si è bruciata. La combustione è un processo troppo caotico per essere reversibile.



Reversibilità delle trasformazioni

TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE (QUASI) REVERSIBILI

- **Esistono** nel mondo reale **trasformazioni reversibili**?
- Risposta: **NO!**.... ma alcune ci si avvicinano...
- **Esempio 1:**
 - **Motori/generatori elettrici:** *il motore elettrico produce energia meccanica assorbendo energia elettrica, può però anche funzionare al contrario (da generatore) assorbendo energia meccanica e producendo energia elettrica.*

*Per questo le auto elettriche ed i treni possono avere il **recupero di energia in frenata**: l'energia cinetica del movimento viene ritrasformata in energia elettrica. Nelle auto tradizionali l'energia cinetica viene dissipata nei freni ed eliminata sotto forma di calore.*



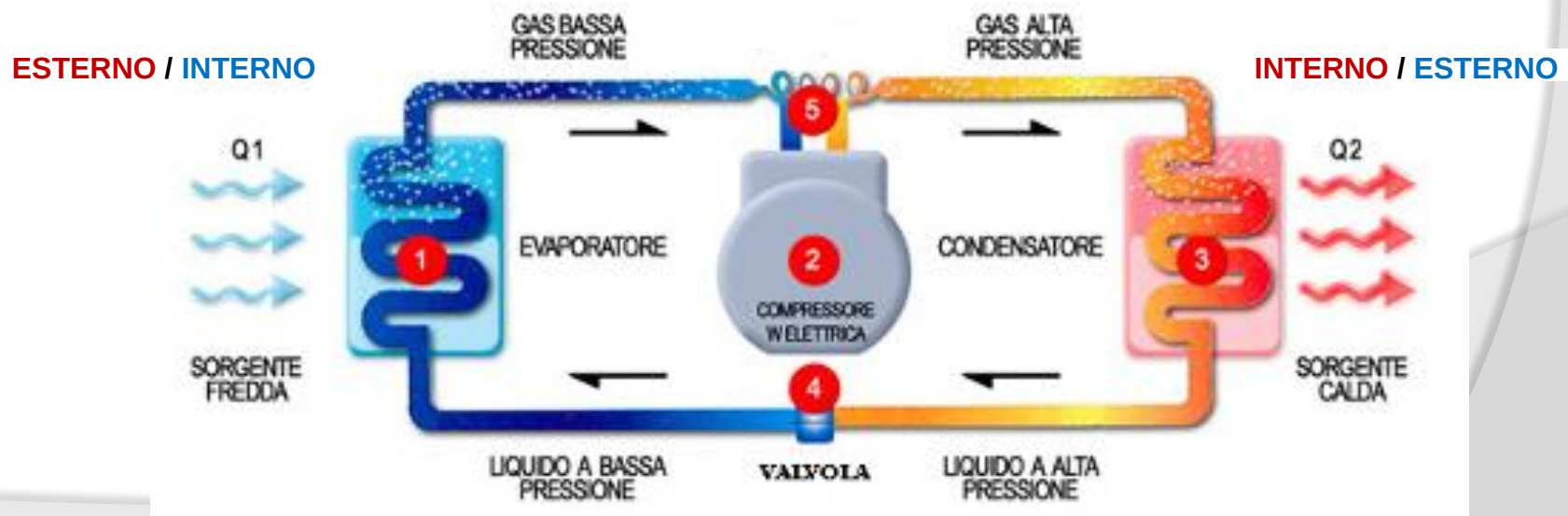
Reversibilità delle trasformazioni

TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE (QUASI) REVERSIBILI

• Esempio 2:

- **Pompe di calore:** la pompa di calore permette di trasferire calore dall'esterno all'interno (funzionamento in riscaldamento) oppure dall'interno all'esterno (funzionamento di raffrescamento).

Si tratta di una funzionalità impossibile per le caldaie tradizionali (a combustione) che possono solamente riscaldare.



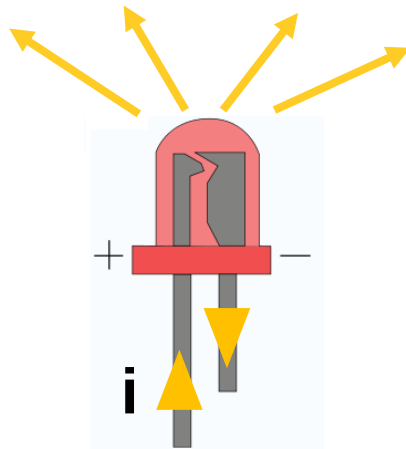
Reversibilità delle trasformazioni

TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE (QUASI) REVERSIBILI

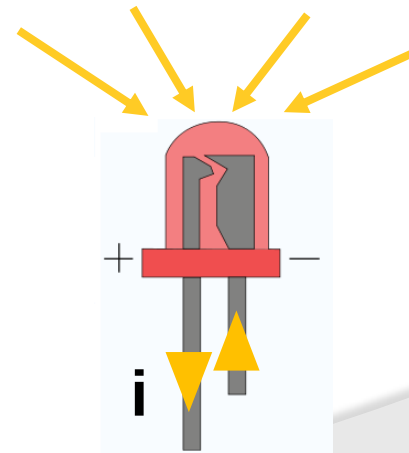
- **Esempio 3:**

- **LED:** i LED (*Light Emitting Diodes*) sono componenti elettronici che producono luce se vengono attraversati da corrente. Gli stessi LED possono funzionare anche da sensori di luminosità: se investiti dalla luce creano una corrente elettrica.

Si tratta di una funzionalità impossibile per tutti gli altri tipi di lampade.



LED come lampada



LED come sensore

Reversibilità delle trasformazioni

TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE (QUASI) REVERSIBILI

- ***Altri esempi:***

- *Materiali piezoelettrici;*
- *Materiali fotovoltaici;*
- *Celle a combustibile;*
- *Batterie elettriche ricaricabili;*
- *Ecc ecc...*

Considerazioni finali:

- **Più la trasformazione si avvicina alla reversibilità più è energeticamente efficiente** poiché vengono ridotte al minimo la degradazione energetica e l'aumento di entropia.

GRAZIE DELL' ATTENZIONE

Ing. Marco Cecconi

marco.cecconi@ingenergia.it



IngEnergia

Condivisione della ricerca
sull'efficienza energetica