

# Cronoprogramma degli argomenti trattati

OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE
Termodinamica	Trasmissione del calore	Benessere termoigrometrico
Psicrometria	Verifiche termoigrometriche	Illuminotecnica

*Teoria e esercizi.*

*2 verifiche in itinere:*

*14 novembre - 9 gennaio*

# Tematiche principali del corso

1. Elementi di Termodinamica

1.1 Aria Umida

2. Trasmissione del calore

2.1 Verifiche termoigrometriche

3. Benessere termoigrometrico

5. Illuminotecnica

La Fisica Tecnica Ambientale studia le problematiche dell'efficienza energetica negli edifici e del comfort ambientale.

Le basi teoriche fornite da questa disciplina sono essenziali per un approccio coerente alla progettazione sostenibile del costruito.

Le conoscenze di base fornite dalla Fisica Tecnica Ambientale diventano sempre di più requisiti tecnici, scientifici ma anche culturali essenziali e irrinunciabili per gli studenti, futuri professionisti, che devono essere in grado di cogliere le nuove sfide con una preparazione adeguata a ciò che richiede il mercato.

- Le Direttive europee che si sono susseguite in questi ultimi quindici anni hanno gettato le basi per una vera e propria rivoluzione sul piano dell'efficienza energetica, dell'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili e più in generale della sostenibilità nel mondo delle costruzioni.
- Nel nostro Paese sono già in vigore leggi e regolamenti che definiscono per le nuove costruzioni standard minimi prestazionali energetici impegnativi, impensabili fino a pochi anni fa: la progettazione

- La progettazione di edifici a energia quasi zero, introdotta dalla più recente direttiva europea del 2010, richiede infatti conoscenze di base solide e in questo contesto la Fisica Tecnica Ambientale assume un ruolo decisivo nel processo formativo di Architetti e Ingegneri che operano nel settore.
- Standard prestazionali energetici elevati riguardano anche gli edifici del patrimonio edilizio esistente qualora siano sottoposti a riqualificazioni energetiche.

# Perché dobbiamo occuparci di energia?

PROBLEMI: **Scarsità risorse energetiche**

Cambiamento climatico

Aumento domanda energetica

Aumento città

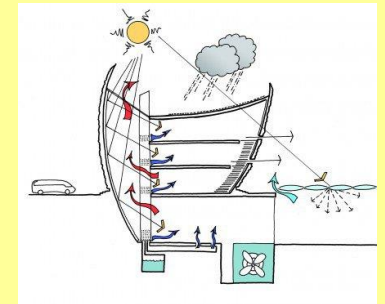
Aumento/migrazione popolazione

**PROVATE A IMMAGINARE UNA GIORNATA DI BLACK OUT!**

**Esistono soluzioni?!**

**Stili di vita  
(persone)**

**Professione  
(architetti)**



# Architetti del XXI secolo: quali competenze?

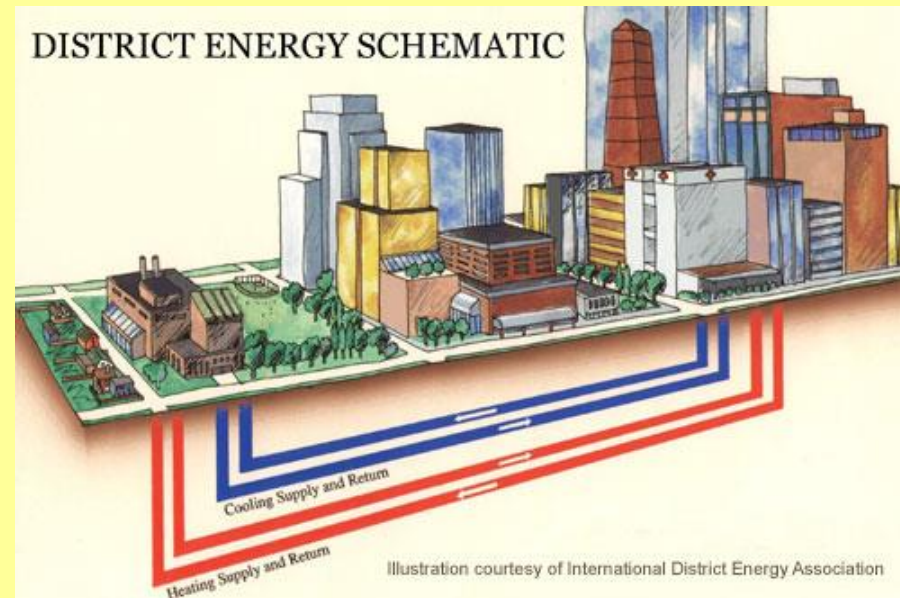
...30 anni dopo la definizione di sviluppo sostenibile...

*"Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs"* Brundtland Report, from the United Nations World Commission on Environment and Development (WCED), 1987

- Creatività e spirito innovativo
- Compatibilità con lavoro di team; propensione all'interdisciplinarietà
- Consapevolezza tecnologica ed ecologica
- Spirito critico
- 3 coordinate spaziali e 1 temporale
- Non dimenticare di dare misura alle cose

# Zona – edificio – quartiere – città - territorio

- Essere pronti a cambiare scala, contesto etc
- Saper far fronte alle emergenze!





# Fisica Tecnica: che cosa studieremo e perché?

- Insieme di leggi, **principi**, osservazioni, esperienze anche molto antiche che ci aiutano a capire il mondo.
- Le sue leggi e definizioni ci guidano nella comprensione di ciò che accade o può accadere in natura.

## conservation of energy principle

*energy can neither be destroyed nor created  
energy just transforms from  
one form into another*



## CELENIT N

### Scheda tecnica

**CELENIT N** è un pannello isolante termico e acustico, costituito da lana di legno di abete mineralizzata legata con cemento Portland grigio. La lana di legno è larga 3 mm. È conforme alla norma UNI EN 13168. CELENIT N è stato certificato da ANAB-ICEA per la eco-biocompatibilità dei materiali e del processo produttivo. Il legno utilizzato proviene da foreste gestite in modo sostenibile (catena di custodia PEFC® o FSC®).



**Dimensioni:** 2400x600 - 2000x600 - 1200x600 mm  
**Spessori:** 15 - 20 - 25 - 30 - 35 - 40 - 50 - 75 mm

### TECNOLOGIA EDILANA PER ABITARE SENZA PETROLIO

Sistemi di Isolamento per l'Efficienza Termica e Acustica ad Altissima Inerzia Termica Lana di Mare® (100% fibra di legno delle foreste marine del Mar Mediterraneo) da posidonia spiaggiata Termoisolante Edilana (100% pura lana vergine di pecora di Sardegna - lana cruda)

CERTIFICAZIONE ETICA AMBIENTALE ANAB-ICEA  
 100% tracciabilità 100% Made in Italy con stabilimenti industriali in Sardegna 100% km corto



stabilimenti produttivi	100% Made in Italy Bitti (NU) Giupponi (VS) per tutte le zone climatiche A-B-C-D-E-F
12 moduli di prodotto	LANA DI MARE® (LAVORAZIONE INDUSTRIALE DELLA POSIDONIA SPIAGGIATA) + TERMOISOLANTE EDILANA (LANA CRUDA 100% PURA LANA VERGINE DI PECORA SARDA)
composizione del prodotto	
densità	da 90 kg/m <sup>3</sup> a 320 kg/m <sup>3</sup>
resistenza al passaggio del vapore μ	3,6
conduttività termica	da 0,032 a 0,036 W/mK da 0,040 a 0,050 W/mK
capacità termica	2529 J/KgC
classe al fuoco	2
sfasamento	A parità di spessore dal 20% al 40% in più rispetto alle fibre di legno di foreste terrestri e/o



Unità di misura



Quanti materiali per risolvere i ponti termici

Solo uno, solo **NORMABLOK PIÙ TAGLIO**.  
Risolve i ponti termici alla base.

Normablok Più è una linea completa di blocchi in laterizio integrati con polistirene additivato di grafite ad alte prestazioni.

Normablok Più Taglio Termico è la soluzione ideale per abbattere il flusso termico anche in direzione verticale e quindi correggere i tipici ponti termici che si vengono a creare all'interfaccia tra: MURATURA e FONDAZIONE, MURATURA e SOLAIO, MURATURA e SOLAIO DI COPERTURA.

Scopri di più su [www.danesilaterizi.it](http://www.danesilaterizi.it)

## SMART WALL

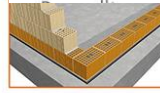
Scarica la nuova brochure e scopri tutti i vantaggi dell'isolamento a cappotto con la lana minerale

DOWNLOAD



Al suo interno troverai:

- Caratteristiche della gamma Smart Wall



## COME FUNZIONA?

Il dispositivo POLOPPOSTO® agisce direttamente sulle molecole d'acqua in condizioni di umidità di risalita dal terreno, invertendo la direzione dell'acqua verso il basso, deumidificando e mantenendo asciutta la muratura.



SGG ANTELIO®

Vetro a controllo solare



# Risparmio energetico VS Efficienza energetica

- **RISPARMIO ENERGETICO**

**Comporta la riduzione del consumo di energia e dei relativi costi economici (a patto di una limitazione degli stili di vita?).**

Esempio: abbassare la temperatura del termostato di 2° C o spegnere gli apparecchi elettronici e di illuminazione quando non li si usa.

- **EFFICIENZA ENERGETICA**

**E' un risparmio di energia mantenendo la stessa qualità dei servizi offerti.**

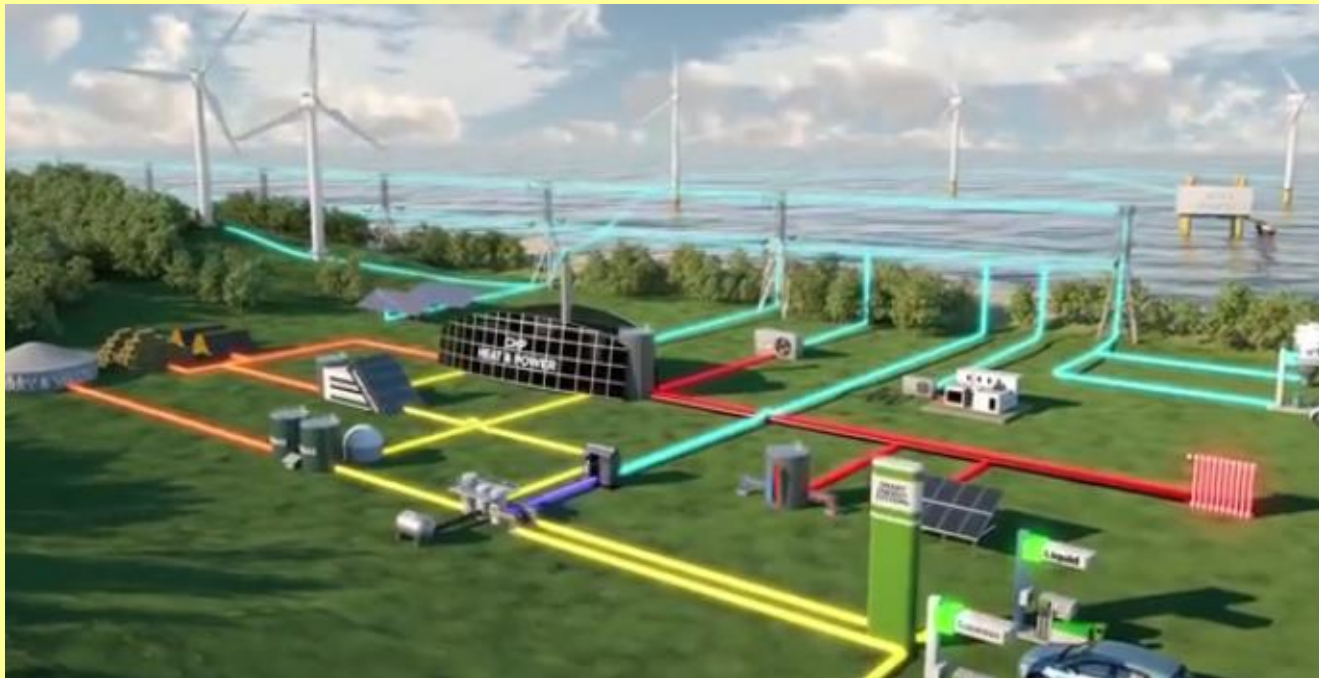
Esempio: sostituire le lampada ad incandescenza con quelle a risparmio energetico



# Architettura, clima, energia, ambiente, occupanti

- Considerare le **caratteristiche climatiche** del luogo e le specifiche dettate dal particolare contesto di inserimento dell'edificio (urbanistico e/o territoriale).
- Trovare accorgimenti per limitare il ricorso alle tecnologie convenzionali di produzione di caldo e di freddo.
- Trovare soluzioni che consentano una riduzione dei costi economico – energetico - ambientali, anche in fase di esercizio.
- Aiutare gli occupanti a mantenere il giusto grado di **benessere** psico-fisico.
- Principi bioclimatici per la progettazione dell'involucro edilizio (controllo solare, ventilazione, inerzia; accumulo, guadagni solari etc...).

- **Diventare architetti con consapevolezza sui temi legati all'uso dell'energia e progettare edifici, quartieri e città più sostenibili (pdv ambiente e energia).**

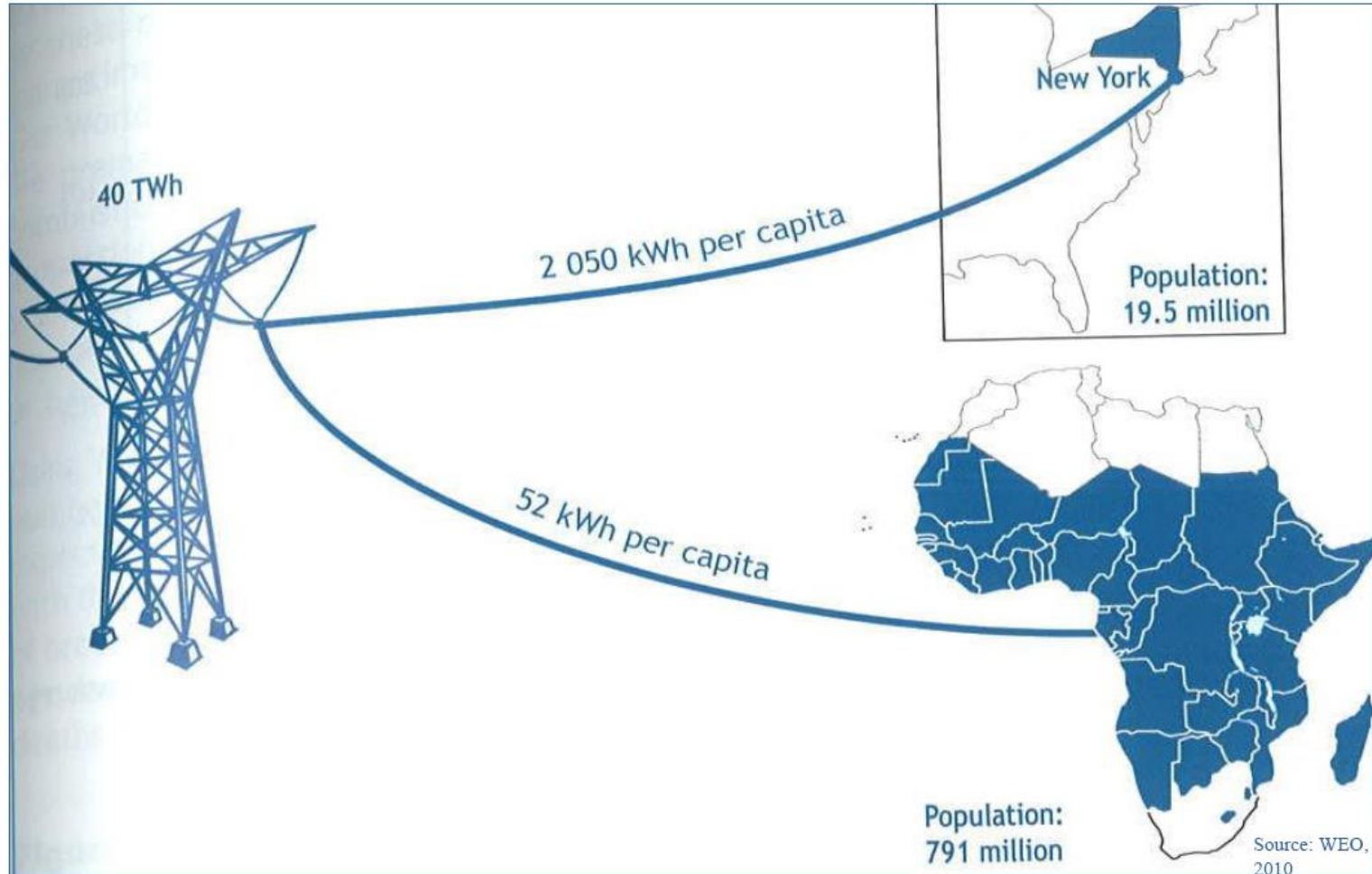


# New York vs. Africa Sub-Saharan



International Energy Agency

## Energy demand disparities



# *Alcuni video per approfondire*

**Il futuro delle rinnovabili. Quanto conta la ricerca per le nuove tecnologie - Università degli Studi di Milano Bicocca – 3 min**

<https://www.youtube.com/watch?v=0IT7vO9psRw#t=101>

**Enea** <http://webtv.enea.it/>

<http://www.teleunica.tv/content/show/ContentId/24582/CatId/2/page/2>

**Smart Heating Europe (ENG) - 21 min** <http://www.4dh.dk/video>

**Dalle rinnovabili alle smart grid - Qualenergia - 26 min**

Gianvincenzo Fracastoro, Professore Ordinario DENERG del Politecnico di Torino, fa il punto sullo sviluppo dell'energia e della ricerca applicata delle energie da fonti rinnovabili e sul loro impiego e consumo intelligente.

Programma 'Antropos' condotto da Antonella Frontani FOCUS con Giorgio Diaferia. <http://www.qualenergia.it/video/20131231-dalle-rinnovabili-alle-smart-grid>

ENEA 4 ep su efficienza energetica

<https://www.youtube.com/watch?v=VTiP77GXSG0>

# Unità di misura

- Qualunque proprietà fisica possiede una dimensione.
- 
- La grandezza assegnata ad una dimensione si chiama **unità**.
- Dimensioni di base:
  - massa  $m$ , lunghezza  $L$ , tempo  $t$ , e temperatura  $T$  chiamate “grandezze **primarie** o **dimensioni fondamentali**
  - velocità  $v$ , energia  $E$ , and volume  $V$  sono espresse in funzione di dimensioni primarie e sono chiamate **dimensioni secondarie** o **derivate**.

**TABLE 1–1**

The seven fundamental (or primary) dimensions and their units in SI

Dimension	Unit
Length	meter (m)
Mass	kilogram (kg)
Time	second (s)
Temperature	kelvin (K)
Electric current	ampere (A)
Amount of light	candela (cd)
Amount of matter	mole (mol)

**TABLE 1–2**

Standard prefixes in SI units

Multiple	Prefix
$10^{12}$	tera, T
$10^9$	giga, G
$10^6$	mega, M
$10^3$	kilo, k
$10^2$	hecto, h
$10^1$	deka, da
$10^{-1}$	deci, d
$10^{-2}$	centi, c
$10^{-3}$	milli, m
$10^{-6}$	micro, $\mu$
$10^{-9}$	nano, n
$10^{-12}$	pico, p



GRANDEZZA	DEFINIZIONE	UNITA' DI MISURA	SIMBOLO
Lunghezza	tragitto percorso dalla luce nel vuoto in un tempo di 1/299792458 di secondo	metro	m
Massa	massa del campione platino-iridio, conservato nel Museo Internazionale di Pesi e Misure di Sèvres (Parigi)	kilogrammo	kg
Tempo	durata di 9192631770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio-133	secondo	s
Corrente elettrica	quantità di corrente che scorre all'interno di due fili paralleli e rettilinei, di lunghezza infinita e sezione trascurabile, immersi nel vuoto ad una distanza di un metro, induce in loro una forza di attrazione o repulsione di $2 \cdot 10^{-7}$ N per ogni metro di lunghezza	ampere	A
Temperatura termodinamica	valore corrispondente a 1/273.16 della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua	kelvin	K
Intensità luminosa	intensità luminosa di una sorgente che emette una radiazione monocromatica con frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz e intensità energetica di 1/683 W/sr.	candela	Cd
Quantità di sostanza	quantità di materia di una sostanza tale da contenere tante particelle elementari quante ne contengono 0.012 kg di carbonio-12.	mole	mol

# Unità di misura

Massa [M]      kg

Lunghezza [L]    m    (spazio, spostamento)

Tempo [T]        s

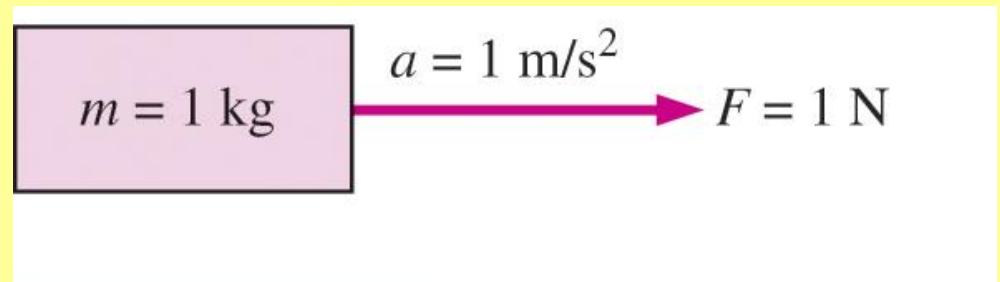
[Velocità] = [spazio]/[tempo] = [L]/[T] = m/s

# Alcune unità di misura

Force = (Mass)(Acceleration)

$$F = ma$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$



[Energia, lavoro] =[forza]x[spostamento]=

[massa]x[accelerazione]x[spostamento]=

[M]x[L]/[T<sup>-2</sup>]x[L]=[M]x[L<sup>2</sup>]/[T<sup>-2</sup>]

Dall'equazione dimensionale si ricava l'unità di misura

kg m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> = Nxm = J (joule)

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$$

Lavoro = Forza × Distanza

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$$

# In sintesi

- Le **leggi fisiche fondamentali** che correlano tra loro le grandezze suddette derivano dalla dinamica :

⇒ **forza** = massa · accelerazione (Forza Peso = massa x accelerazione di gravità)  $\mathbf{f} = m \cdot \mathbf{a} \rightarrow \text{kg m s}^{-2} = \text{N}$

⇒ **pressione** = forza/superficie =  $f/A \rightarrow \text{kg m s}^{-2}/\text{m}^2 = \text{kg m}^{-1}\text{s}^{-2} = \text{N}/\text{m}^2$   
→ **1Pa** = 1N/m<sup>2</sup>

⇒ **lavoro**=forza · spostamento →  $\text{kg m s}^{-2} \text{ m} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2} = \text{J}$   
→ **1J** = 1N·m

⇒ **potenza** = lavoro eseguito nell'unità di tempo →  $\text{kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ s}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-3}$   
→ **1W**=1 N · m/s=1J/s

- Importante: non confondere l'unità di misura dell'energia termica espressa in kWh con la potenza che è espressa in kW.

### *Esempio*

Un apparecchio domestico avente la potenza di 0,75 kW se rimane in funzione per 5 minuti; quanta energia consuma?

$$0,75\text{kW} \times 5 \times 1/60 = 0,062 \text{ kWh}$$

In maniera equivalente:

$$0,75\text{kW} \times 5 \times 60 = 225 \text{ kJ}$$

Infatti

$$225/3600 = 0,062 \text{ kWh}$$

Trasformare le seguenti unità di misura, evidenziando i casi in cui  
ciò non è possibile

- $300 \text{ K} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } ^\circ \text{ C}$
- $-120 \text{ } ^\circ \text{ C} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ K}$
- $127 \text{ } ^\circ \text{ C} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ K}$
- $25 \text{ } ^\circ \text{ C} (\Delta t) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ K} (\Delta t)$
- $257 \text{ Wh} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ J}$
- $4500 \text{ kJ} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kWh}$
- $128 \text{ kJ/s} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ}$
- $12000 \text{ kcal} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Wh}$
- $10000 \text{ MW} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Gcal/h}$
- $200 \text{ HP} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Wh}$
- $10 \text{ Bar} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Pa}$
- $127 \text{ kg/cm}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Pa}$
- $120000 \text{ Pa} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Bar}$

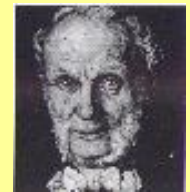
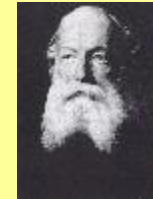
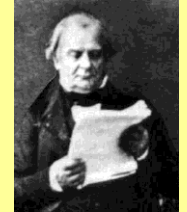
Trasformare le seguenti unità di misura, evidenziando i casi in cui  
ciò non è possibile

- $300 \text{ K} = 300 - 273,15 = 26,85 \text{ } ^\circ \text{ C}$
- $-120 \text{ } ^\circ \text{ C} = -120 + 273,15 = 153,15 \text{ K}$
- $127 \text{ } ^\circ \text{ C} = 127 + 273,15 = 400,15 \text{ K}$
- $25 \text{ } ^\circ \text{ C} (\Delta t) = 25 \text{ K} (\Delta t)$
- $257 \text{ Wh} = 257 \times 3600 = 925200 \text{ J}$
- $4500 \text{ kJ} = 4500 / 3600 = 1,25 \text{ kWh}$
- $128 \text{ kJ/s} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ}$
- $12000 \text{ kcal} = 12000 \times 4186 / 3600 = 13953 \text{ Wh}$
- $10000 \text{ MW} = 10000 \times 3600 / 4,186 / 1000 = 8600 \text{ Gcal/h}$
- $200 \text{ HP} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Wh}$
- $10 \text{ Bar} = 10 \times 100000 = 1000000 \text{ Pa}$
- $127 \text{ kg/cm}^2 = 9,8 \times 127 \times 10000 = 12.446.000 \text{ Pa}$
- $120000 \text{ Pa} = 120000 / 100000 = 1,2 \text{ Bar}$



# Termodinamica

- Sadi-Nicolas-Leonard Carnot 1796 - 1832
- Benoit-Paul-Emile Clayperon 1799 – 1864
- Julius Robert Mayer 1814 - 1878
- James Prescott Joule 1818 - 1889
- William Thomson Kelvin 1824 - 1907
- Rudolf Julius Clausius 1822 - 1888
- ...



# Termodinamica

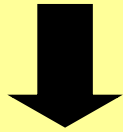
La termodinamica è la scienza che studia il trasferimento e le trasformazioni dell'energia, nonché le connesse variazioni delle proprietà fisiche dei sistemi.

## Terminologia

- Sistema e ambiente
- Vincoli di un sistema
- Massa e volume di controllo
- Macroscopico e microscopico
- Proprietà termodinamiche
- Stato termodinamico ed equazioni di stato
- Sistemi semplici (sostanza pura, fasi, ..)
- Gradi di libertà del sistema ( $p$ ,  $v$ ,  $T$ )
- Trasformazioni termodinamiche
- Termodinamica classica e del continuo
- Energia, calore e lavoro
- Temperatura e pressione termodinamica

# Sistema e ambiente

**Superficie di controllo**  
**S.C.**



**Ambiente**

La superficie reale o immaginaria che separa il sistema dall'ambiente è la superficie di controllo.

Il sistema è la quantità di materia o la regione di spazio oggetto di studio.

Tutto ciò che è esterno al sistema costituisce l'ambiente.

# Sistemi e superficie di controllo

## **Sistema**

Si definisce “Sistema Termodinamico” una porzione di spazio o di materia separata dal resto dell’universo da una superficie di contorno, reale o fittizia, attraverso cui interagisce con l’esterno o con altri sistemi mediante scambi di energia e/o di massa.

## **Ambiente**

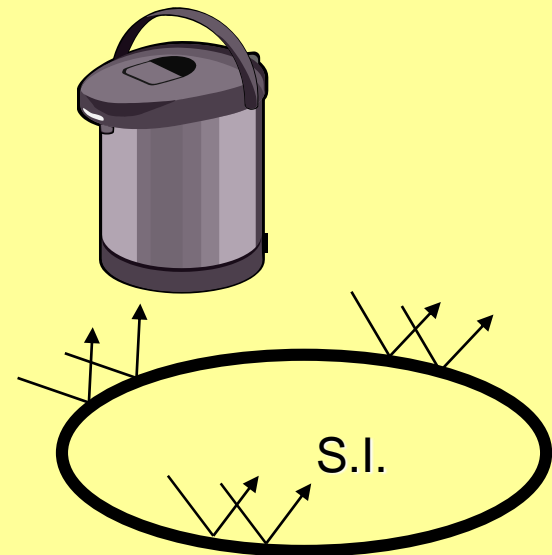
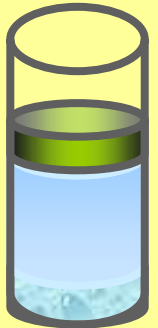
Massa o regione al di fuori del sistema

## **Superficie di controllo o Confine**

Superficie reale o immaginaria che separa il sistema dall’ambiente, attraverso cui interagisce con l’esterno o con altri sistemi mediante scambi di energia e/o di massa.

# Vincoli di un sistema

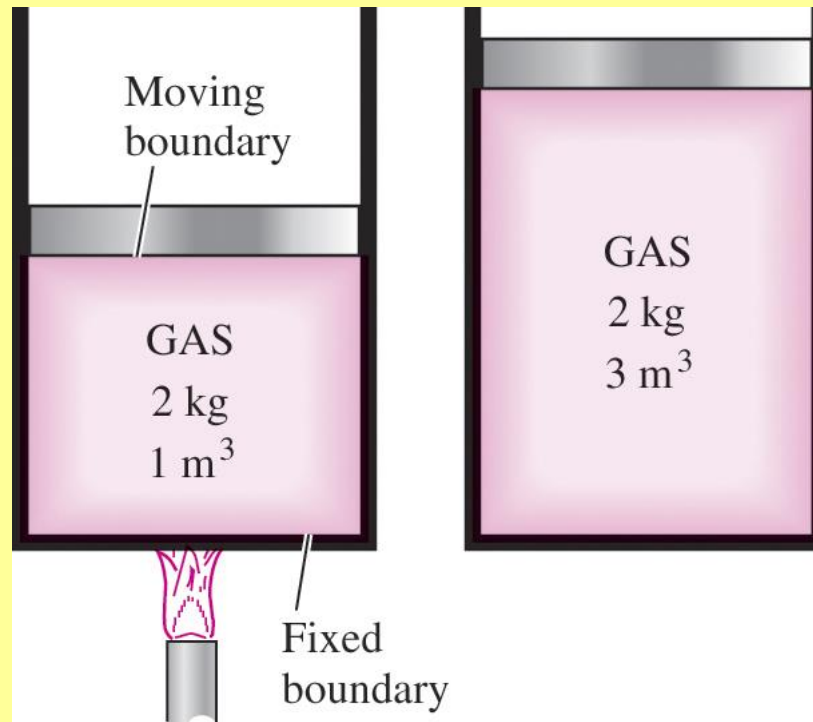
- Chiuso - Aperto
- A pareti rigide e fisse - A pareti mobili
- Adiabatico - Diatermano
- Isolato - Non isolato



# Sistemi

## CONFINI

- Il confine di un sistema può essere *fisso* o *movibile*.



# Sistemi

- I sistemi possono essere *chiusi* o *aperti*.

## SISTEMA CHIUSO

Sistema in cui non si hanno flussi di massa attraverso la sua superficie di contorno. Un tale sistema è dunque caratterizzato da **massa costante**.

## SISTEMA APERTO

Se attraverso la sua superficie di contorno avvengono flussi di massa (in entrata e/o in uscita), il sistema è **a massa variabile**.

Ad esempio, un serbatoio ermeticamente chiuso contenente un fluido costituisce un sistema chiuso a massa costante poiché impedisce sia ingressi che fuoriuscite di massa

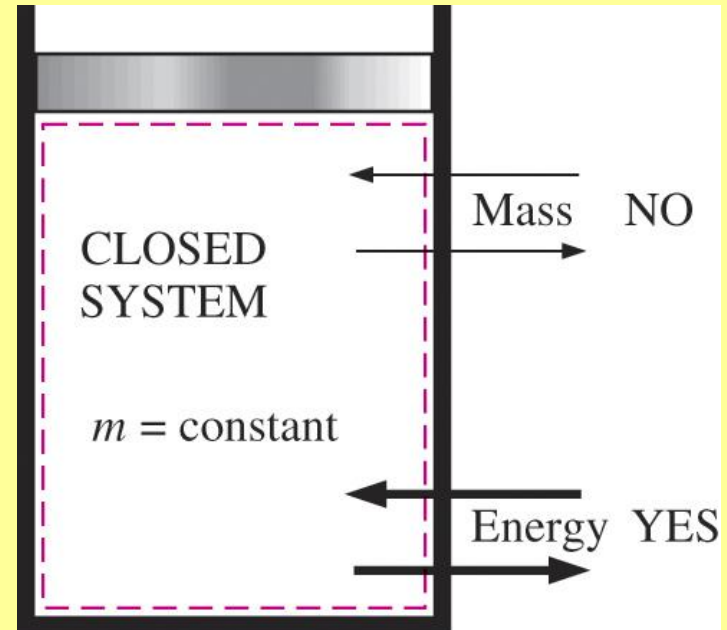
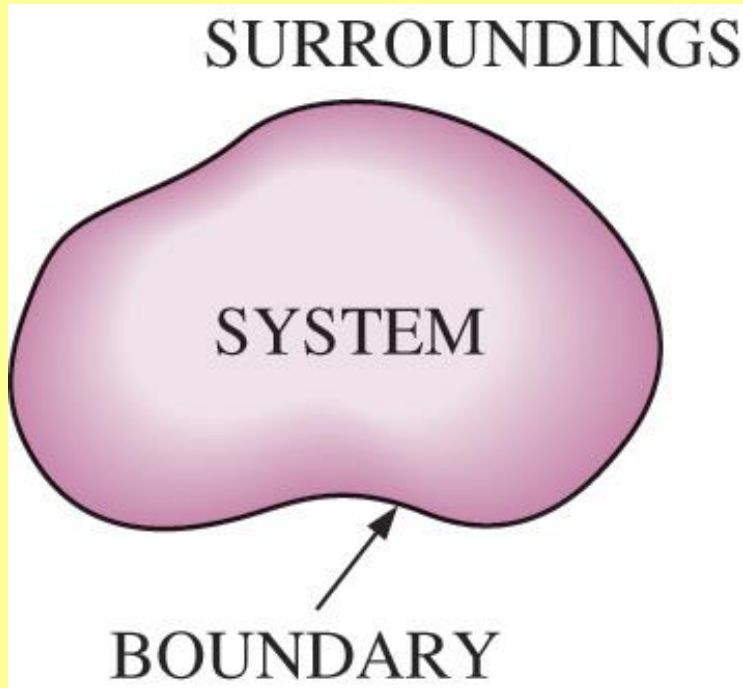
Una turbina idraulica, che prevede una sezione di ingresso ed una di uscita dell'acqua di alimentazione, subisce variazioni di massa ed è dunque un **sistema aperto**.

# Sistemi e volumi di controllo

## Sistema chiuso (Massa di controllo):

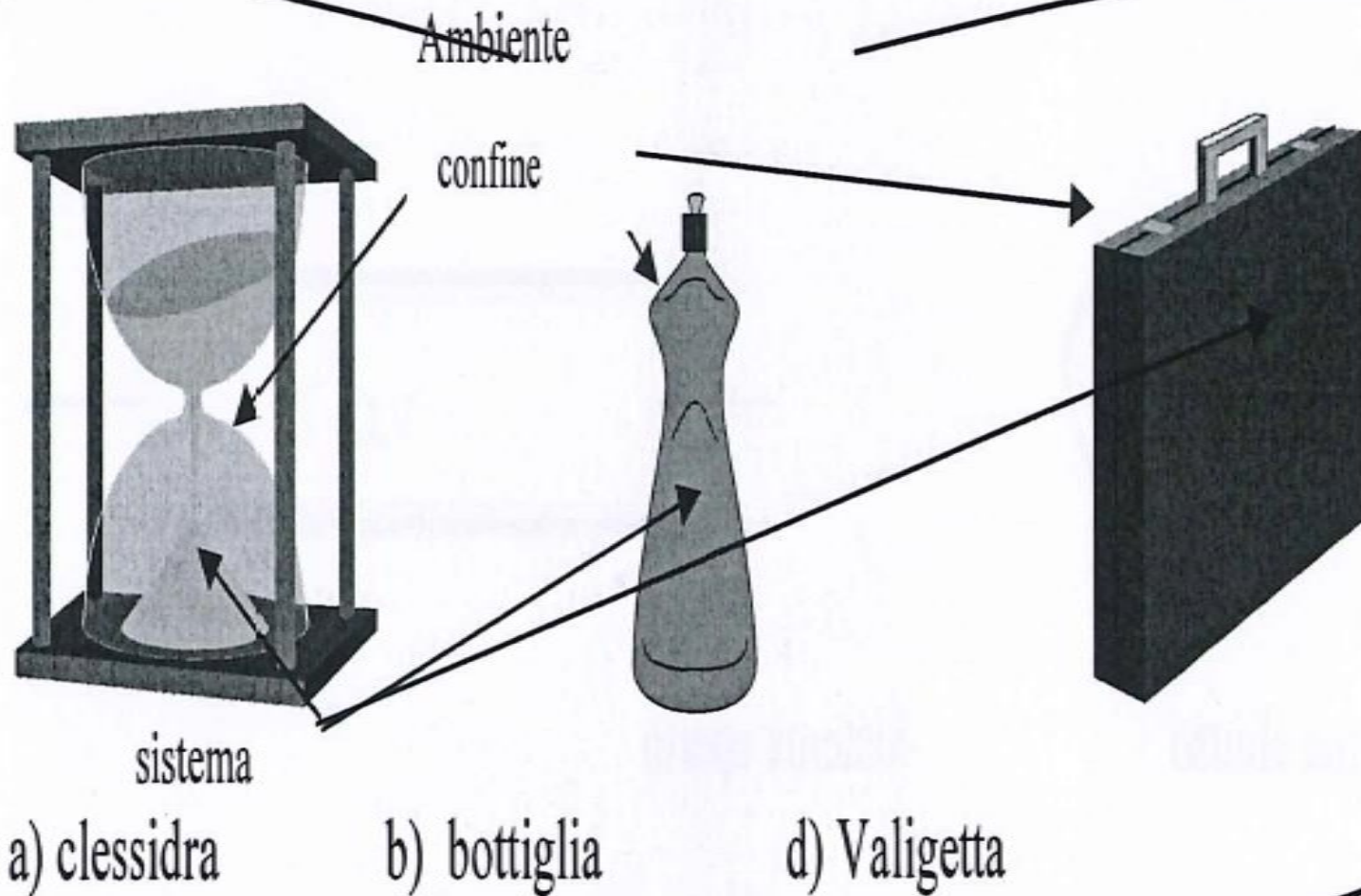
Una quantità invariabile di massa.

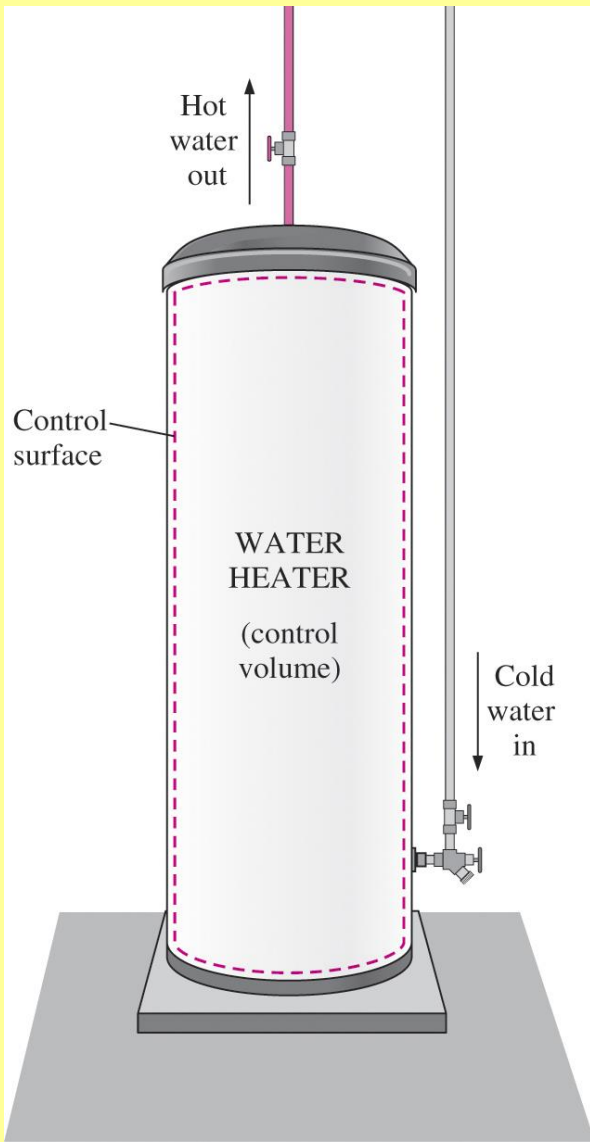
Non c'è attraversamento di massa attraverso il confine.





# Sistemi chiusi





Un sistema aperto con un ingresso e un' uscita

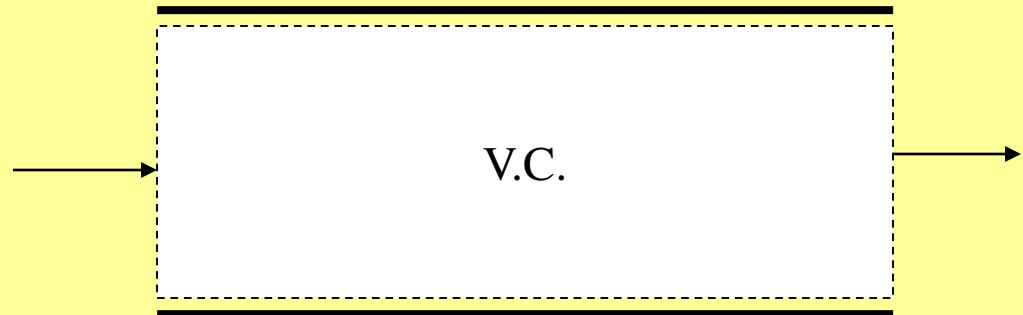
## Sistema aperto (volume di controllo):

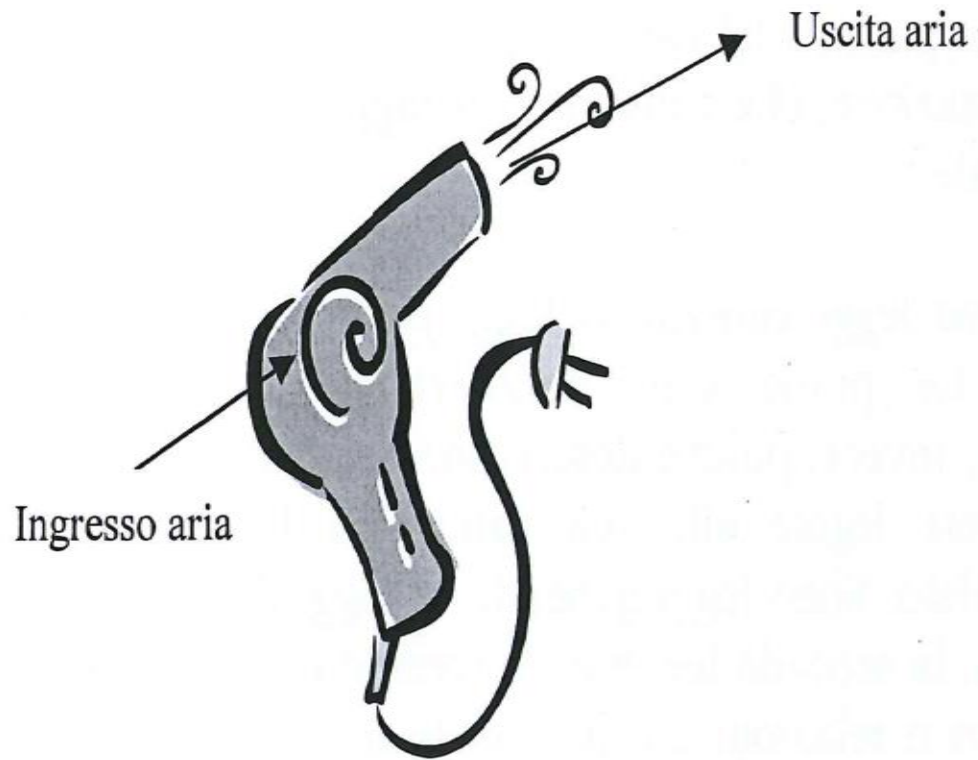
- Porzione di spazio in cui sia la massa che l'energia possono attraverso il confine del volume.

## Superficie di controllo:

- È la superficie che racchiude il volume

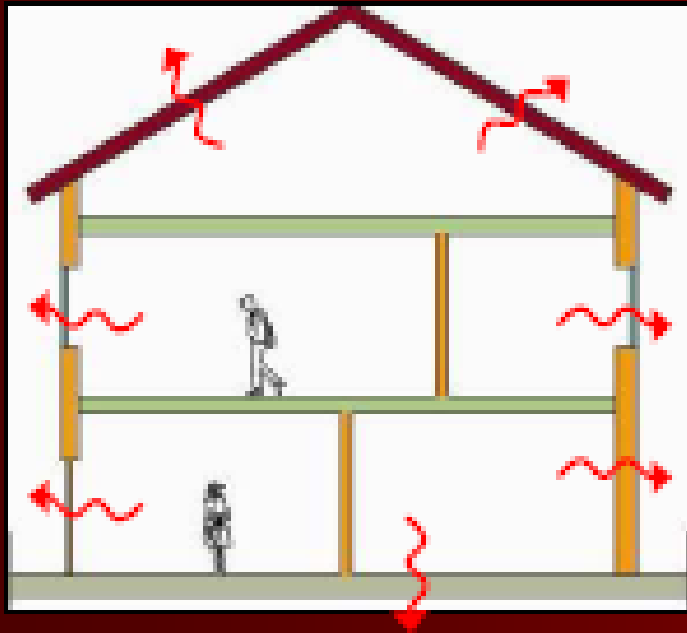
Poichè la massa è variabile risulta necessario stabilire convenzionalmente un volume di controllo che lo delimiti; tale volume è generalmente compreso tra le sezioni di ingresso e di uscita



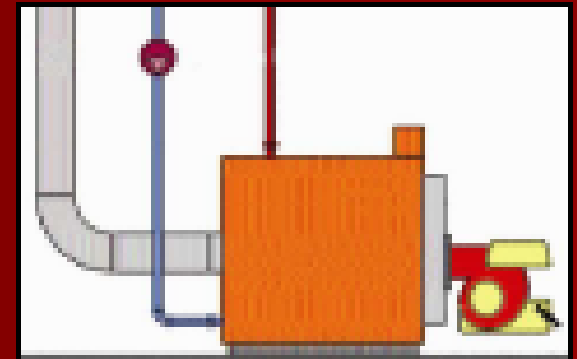
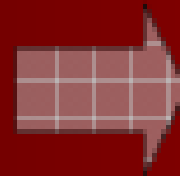


L'edificio è un sistema aperto che scambia con l'ambiente massa ed energia:

- energia termica (calore)
- massa d'aria



Edificio



Impianto

- Un sistema termodinamico si definisce ISOLATO se non è oggetto di flussi di energia, in particolare è ADIABATICO, se risulta termicamente isolato, ossia non scambia calore con l'ambiente esterno o con altri sistemi.
- Per quello che riguarda la massa contenuta in un sistema, possiamo trovarla in una sola fase o stato di aggregazione, oppure in più fasi: nel primo caso il sistema sarà detto OMOGENEO mentre nell'altro caso sarà detto ETEROGENEO.
- Un sistema può inoltre essere costituito da uno o più componenti. Ad esempio, l'aria che respiriamo è un sistema a più componenti (ossigeno  $O_2$ , azoto  $N_2$ , vapore acqueo  $H_2O$  ed altri gas in quantità minori), omogeneo poiché tutti i componenti si presentano allo stato gassoso, mentre un miscuglio di acqua liquida e ghiaccio è un sistema ad un solo componente ma eterogeneo, essendo in esso presenti contemporaneamente due fasi.

# STATO TERMODINAMICO

Si dice che un sistema è in **equilibrio termodinamico** se si verificano le seguenti condizioni

## **Equilibrio termico:**

Se non avvengono fenomeni di scambio termico a causa di un valore uniforme della TEMPERATURA in ogni suo punto.

## **Equilibrio meccanico:**

Se non esiste moto relativo tra le sue parti, verificandosi evidentemente una condizione di equilibrio tra le forze ad esso applicate. Conseguenza dell'equilibrio meccanico è un valore uniforme della PRESSIONE in ogni suo punto.

## **Equilibrio chimico:**

Se al suo interno non sono in atto reazioni chimiche o fenomeni di diffusione di specie chimiche, il che comporta un valore uniforme del POTENZIALE CHIMICO di ciascuna specie presente

## **Equilibrio di fase:**

Se non ci sono cambiamenti di fase all'interno del sistema

# Proprietà termodinamiche

La **proprietà** è qualunque grandezza caratteristica del sistema.

**intensiva**

il valore è indipendente dall'estensione del sistema.

pressione, temperatura, conducibilità termica

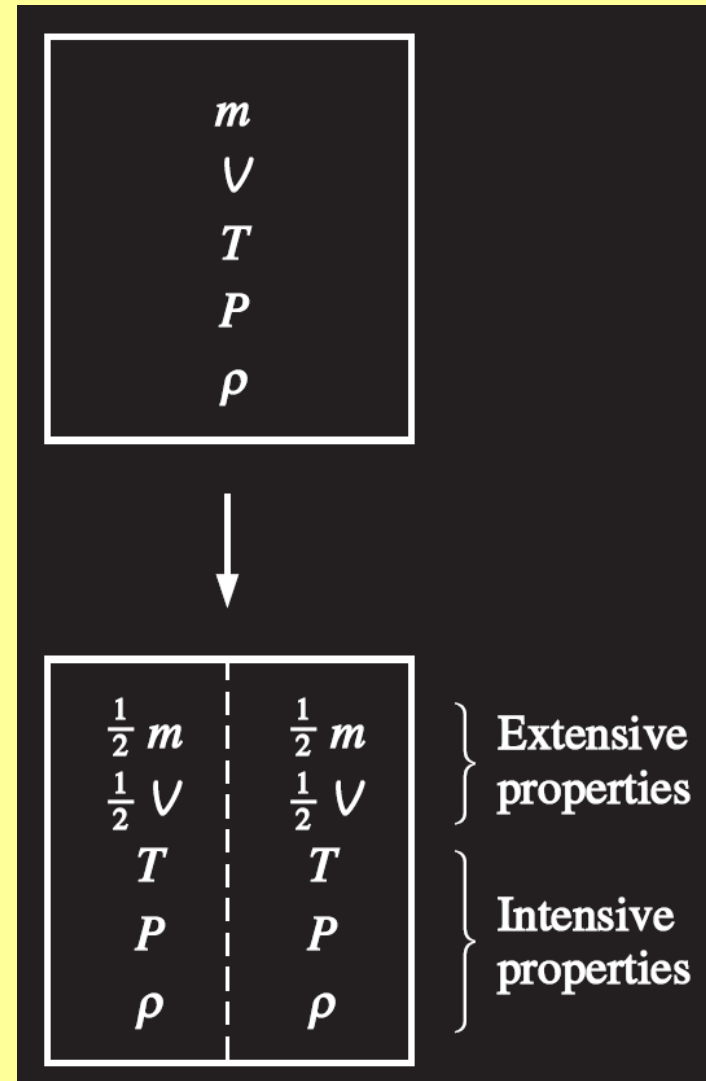
**estensiva**

il valore è dipendente dall'estensione del sistema.

massa, entropia, volume, energia

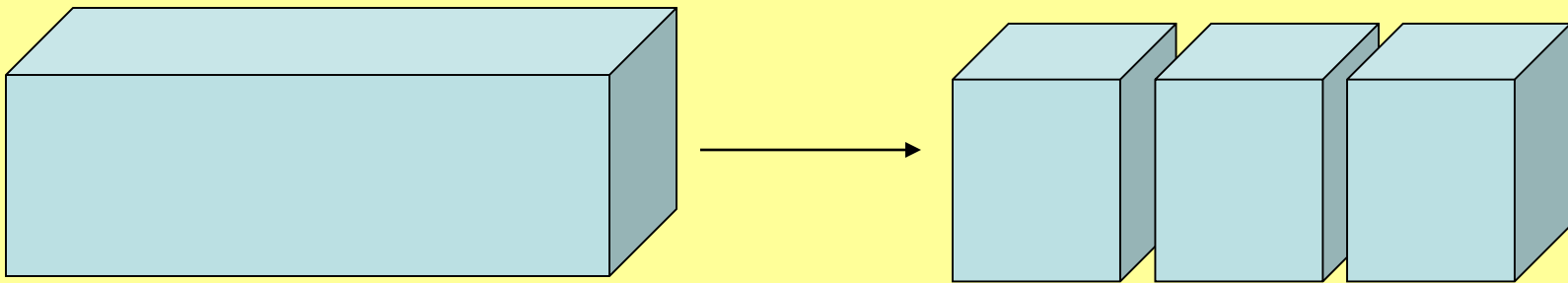
# Proprietà di un sistema

- **Proprietà:** Caratteristica di un sistema.
- Alcune sono la pressione  $P$ , temperatura  $T$ , volume  $V$ , e la massa  $m$ .
- Le proprietà possono essere *intensive* o *extensive*.
- **Proprietà intensive:**  
Quelle che sono indipendenti dalla massa di un sistema, come la temperatura, la pressione e la densità.
- **Proprietà estensive:**  
Quelle i cui valori dipendono dalla misura o dall'estensione del sistema.





# Proprietà di un sistema



$$V_{\text{tot}} = 300 \text{ litri}$$

$$m_{\text{tot}} = 3 \text{ kg}$$

$$T = 25^\circ \text{ C}$$

$$V_1 = 100 \text{ litri} \quad V_2 = 100 \text{ litri} \quad V_3 = 100 \text{ litri}$$

$$m_1 = 1 \text{ kg} \quad m_2 = 1 \text{ kg} \quad m_3 = 1 \text{ kg}$$

$$T_1 = 25^\circ \text{ C} \quad T_2 = 25^\circ \text{ C} \quad T_3 = 25^\circ \text{ C}$$

Si può scrivere:

$$V_{\text{tot}} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$m_{\text{tot}} = m_1 + m_2 + m_3$$

$$T_1 = T_2 = T_3$$

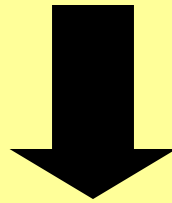
Allora volume e massa dipendono dall'estensione del sistema

# Proprietà specifiche

**proprietà estensiva**

---

**massa**



**proprietà specifica**

**volume specifico,  
energia specifica,  
entropia specifica**

# Proprietà di un sistema

- **Massa e volume sono proprietà estensive** e ad esse è applicabile la proprietà additiva.
- **La temperatura non è estensiva, ma è intensiva** e resta costante al variare della massa del sistema

- **Proprietà specifiche:**

Proprietà estensive per unità di massa.

Se si divide una proprietà estensiva per la massa considerata essa non gode più della proprietà additiva e soddisfa la definizione di proprietà intensiva

Esempio: *volume specifico*  $v = \text{Volume}/\text{massa} = V/m$

*peso specifico*  $\gamma = \text{Peso}/\text{massa} = P/m$

# Proprietà interne ed esterne

## Proprietà esterne:

Proprietà che dipendono dal moto del sistema o dalla sua posizione in un campo di forze e vengono misurate rispetto ad un sistema di riferimento esterno al sistema

Esempio: velocità, energia cinetica, energia potenziale.

## Proprietà interne:

Proprietà che sono suscettibili di misura all'interno dei confini del sistema

Esempio: pressione, temperatura, volume specifico

# DENSITÀ

## Densità

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$$

## Volume specific

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

## Peso specifico

Il peso di un volume unitario di sostanza

$$\gamma_s = \rho g \quad (\text{N/m}^3)$$

$$V = 12 \text{ m}^3$$
$$m = 3 \text{ kg}$$



$$\rho = 0.25 \text{ kg/m}^3$$

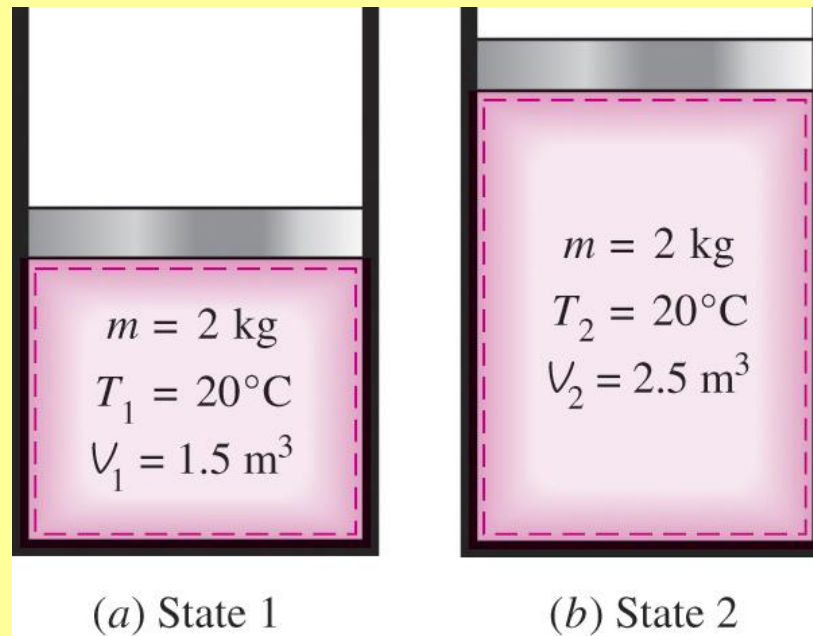
$$v = \frac{1}{\rho} = 4 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Densità è “massa per unità di volume”

Il volume specifico è volume per unità di massa

# Grandezze di scambio

- Quando in un sistema una o più grandezze termodinamiche subiscono una variazione, il sistema perde la sua condizione di equilibrio e tende ad un'altra condizione di equilibrio, caratterizzata da un altro valore della grandezza o delle grandezze che sono variate.
- Si definisce **trasformazione** ogni modificazione dello stato termodinamico di un sistema che comporti la variazione del valore assunto da almeno una delle grandezze di stato che lo caratterizzano rispetto alla condizione iniziale.
- Parallelamente alle **grandezze di stato**, vanno definite alcune grandezze dette **di scambio**, che non possono essere definite in corrispondenza di uno stato termodinamico, ma solo all'interno di una trasformazione.
- Queste grandezze sono forme di energia, che esprimono le quantità di energia meccanica (lavoro) o termica (calore), scambiate dal sistema con l'ambiente esterno o tra due sistemi e che consentono lo svolgersi di una trasformazione.



Un sistema a due differenti stati.

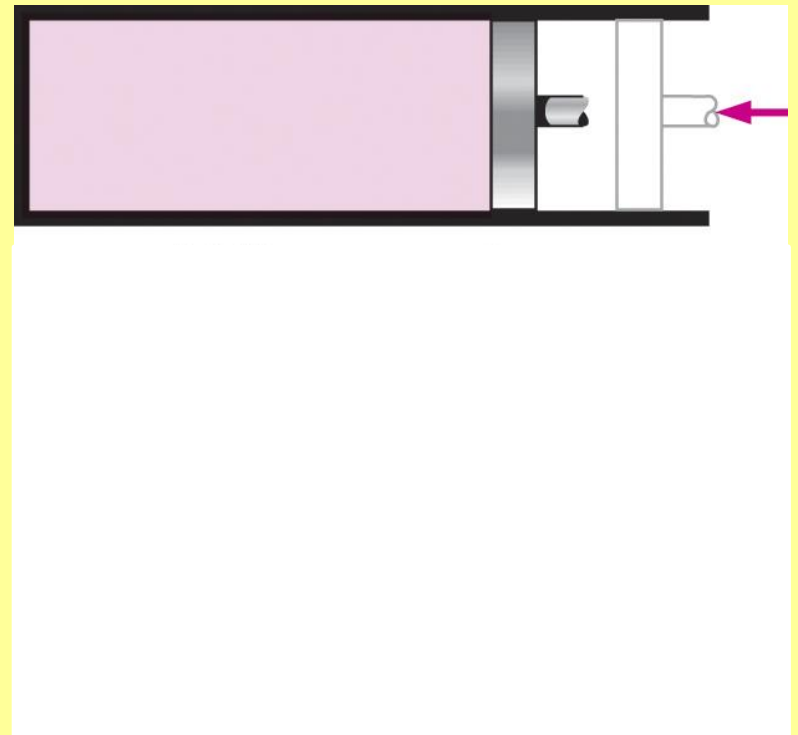
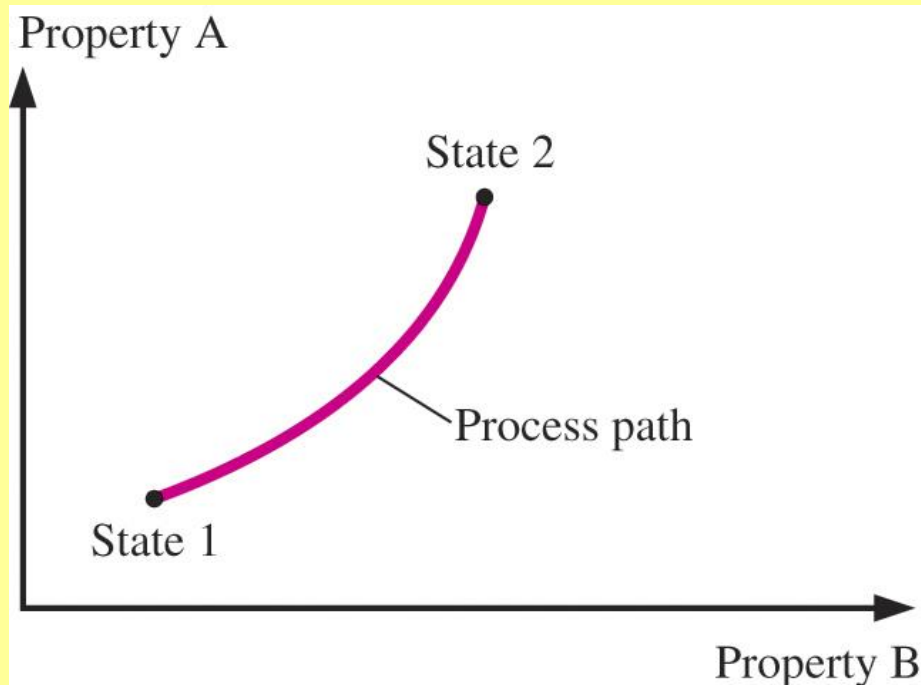
Quando un sistema passa da uno stato di equilibrio a un altro, si dice che esso subisce una **trasformazione**.

Ciò avviene se esiste qualche interazione tra ambiente e sistema di tipo energetico

**Trasformazione o processo:** Cambiamento del sistema, in virtù del quale un sistema passa da uno stato di equilibrio a un altro.

**Percorso:** La serie di stati attraverso cui un sistema passa durante una trasformazione.

Per descrivere un processo completamente, si devono conoscere gli stati iniziale e finale il percorso e le interazioni con l'ambiente.





- Le trasformazioni si possono descrivere attraverso i diagrammi di stato le cui coordinate sono le proprietà termodinamiche:

temperatura  $T$ , pressione  $P$  e volume  $V$  (o volume specifico  $v$ ).

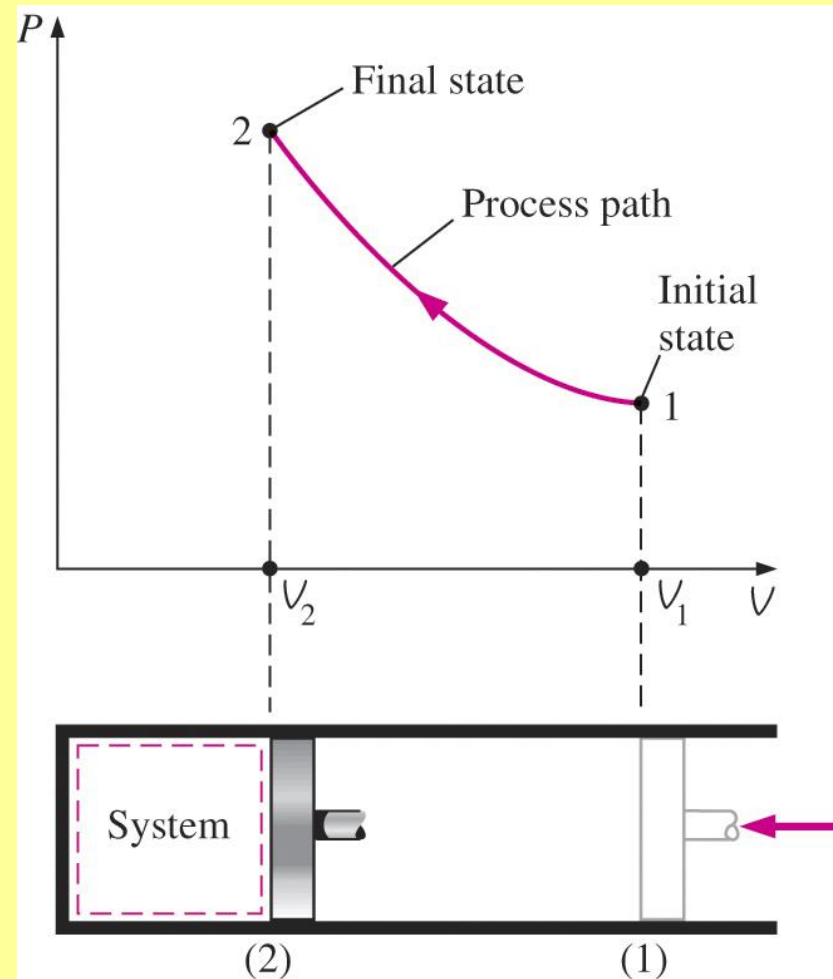
- Il prefisso *iso-* è spesso impiegato per individuare un processo in cui una certa proprietà rimane costante.

- Trasformazione isotermico:** Processo in cui la  $T$  rimane costante.

- Trasformazione isobarica:** Processo in cui la  $P$  rimane costante.

- Trasformazione isocora:** Processo in cui  $v$  rimane costante.

- Ciclo:** Processo in cui lo stato iniziale coincide con lo stato finale.



Il diagramma  $P$ - $V$  di un processo di compressione.

# FORME DI ENERGIA

- Esistono diverse forme di energia
- In un sistema la somma di tutte le forme di energia è detta **energia totale  $E$**  del sistema.
- La Termodinamica studia i cambiamenti dell' energia totale.

**Forme microscopiche di energia:** Relative alla struttura molecolare del sistema.

**Forme macroscopiche di energia:** Forme di energia possedute da un sistema rispetto a un sistema di riferimento esterno (energia cinetica ed energia potenziale)

- **Energia interna,  $U$ :** La somma di tutte le forme microscopiche di energia
- **Energia cinetica:** Energia che un sistema possiede come risultato del suo movimento rispetto ad un sistema di riferimento
- **Energia potenziale:** Energia che un sistema possiede come risultato della sua quota in un campo gravitazionale.



L' energia macroscopica di un oggetto varia con la velocità e con la quota.

# FORME DI ENERGIA

## FORME MACROSCOPICHE DI ENERGIA

- **Energia cinetica:** l'energia posseduta dai corpi in movimento e si esprime con la relazione:  $E_c = 1/2 m w^2$  , ove  $m$  é la massa (kg) del corpo e  $w$  é la velocità da esso posseduta ( m/s);
- **Energia potenziale:** l'energia posseduta dai corpi posti ad una certa altezza dal suolo e si esprime mediante la relazione:  $E_p = m g z$  , ove  $m$  é la massa del corpo (kg),  $g$  é l'accelerazione di gravità (9,81 m/s<sup>2</sup>) ed  $h$  é l'altezza dal suolo a cui si trova il corpo (m)

## FORME MICROSCOPICHE

- **Energia interna:** é energia termica a livello molecolare ed è dovuta all'agitazione molecolare interna delle particelle che lo costituiscono.

# FORME DI ENERGIA

## Energia interna

L'energia interna di un corpo si può calcolare mediante la relazione:

$$du = mc_v dT$$

$m$  é la massa del corpo,

$c_v$  é il calore specifico a volume costante (espresso in  $J/(kgK)$  o anche  $J/(kg^\circ C)$  )

$dT$  é la differenza di temperatura fra lo stato iniziale e lo stato finale della trasformazione termodinamica.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Energia cinetica

$$E_p = mgz$$

Energia potenziale

Energia totale di un sistema

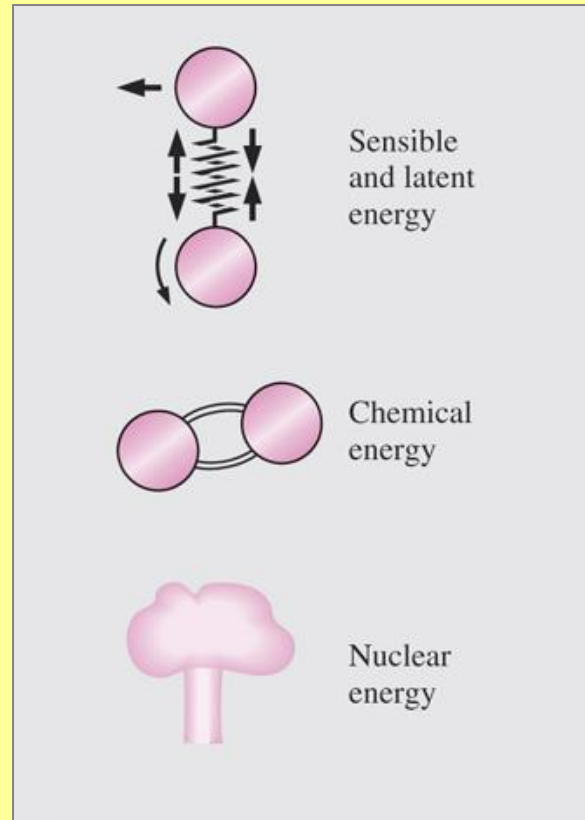
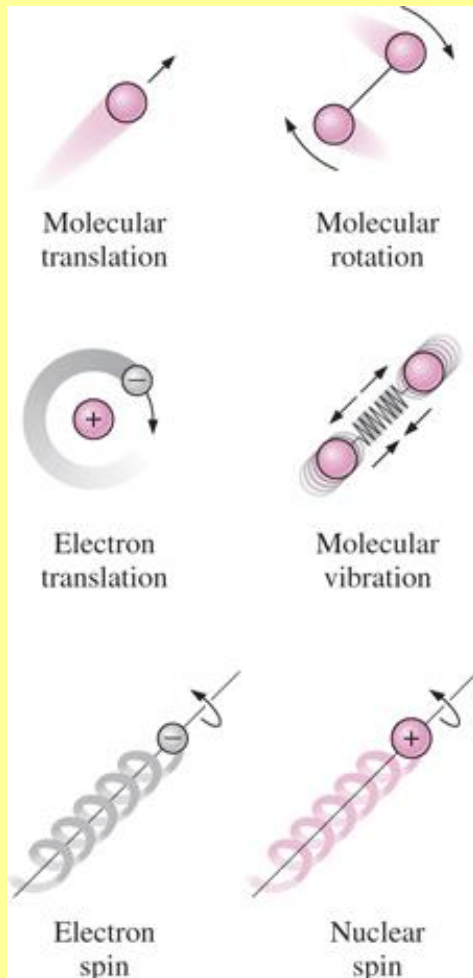
$$E = U + E_c + E_p = U + \frac{1}{2}mv^2 + mgz$$

Energia totale di un sistema per unità di massa

$$e = \frac{E}{m} \quad (\text{kJ/kg})$$

$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

# Energia Interna U



**Energia Sensibile:** Parte di energia interna di un sistema associata all'energia cinetica delle molecole.

**Energia Latente:** Parte di energia interna di un sistema associata alla fase del sistema.

**Energia Chimica:** Parte di energia interna di un sistema associata ai legami molecolari.

**Energia nucleare:** Parte di energia interna di un sistema associata ai forti legami tra i nuclei dell'atomo.

**Energia termica = Sensibile + Latente**

**Interna = Sensibile + Latente + Chimica + Nucleare**

- L'energia totale di un sistema può essere immagazzinata nel sistema e può essere vista come somma di **forme di energia statiche**.
- Le forme di energia non immagazzinate possono essere viste come **forme dinamiche di energia** o **di interazione**.
- Le forma dinamiche possono essere individuate al confine del sistema quando lo attraversano e rappresentano l'energia guadagnata o perduta dal sistema durante un processo.
- Le forme dinamiche di energia associate a un sistema chiuso sono solo due: **calore** e **lavoro**.

### **Differenza tra calore e lavoro:**

- Un trasferimento di energia è calore se la causa è una differenza di temperatura. Altrimenti è lavoro.

# Energia

L'energia è una proprietà estensiva di un sistema e può variare secondo tre diverse modalità:

a) Modalità **calore**

b) Modalità **lavoro**

c) A seguito di trasferimento di massa non realizzabile in un sistema chiuso

1. Si parla di energia trasmessa sotto forma di calore se la causa è una differenza di temperatura

2. Si parla di energia trasmessa sotto forma di lavoro se la causa è l'azione di una forza (pressione) risultante diversa da zero



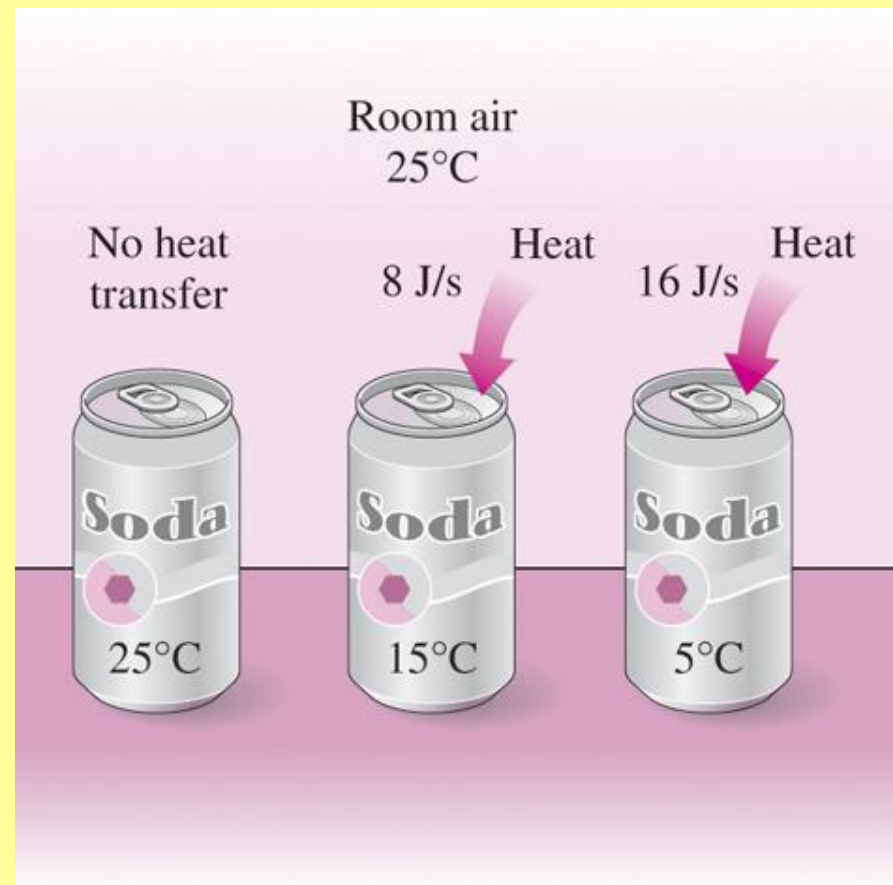
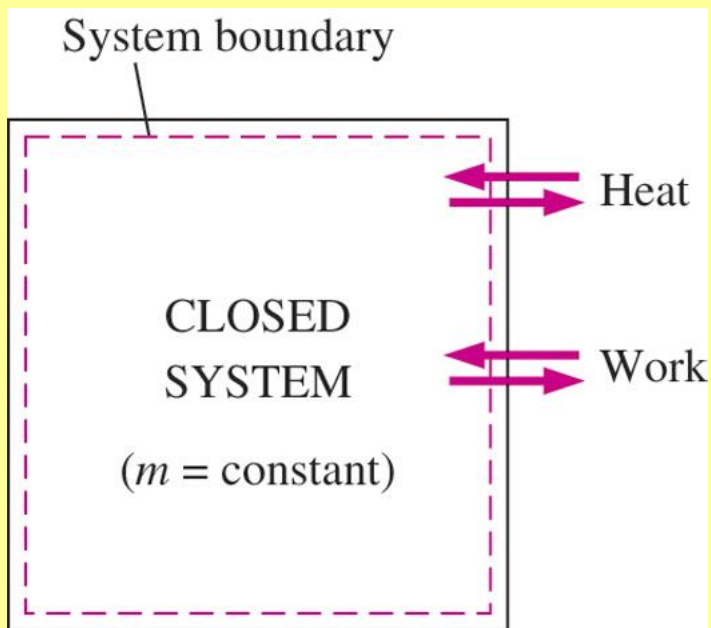
## Lavoro termodinamico

- Lavoro compiuto da un fluido quando subisce una trasformazione di espansione (lavoro positivo) o di compressione (lavoro negativo).
- Se  $p$  é la pressione che esso esercita sul gas, supponendo che non ci siano attriti nel movimento del pistone, si deduce che il lavoro (dato dal prodotto della forza per spostamento nella direzione della forza) é:  $L = pV$  mentre il lavoro specifico é dato dal prodotto  $l = pv$  con  $v$  volume specifico del fluido.



# ENERGIA TRASFERITA PER CALORE

**Calore:** Forma di energia trasferita tra due sistemi (o un sistema e il suo ambiente) per effetto di una differenza di temperatura



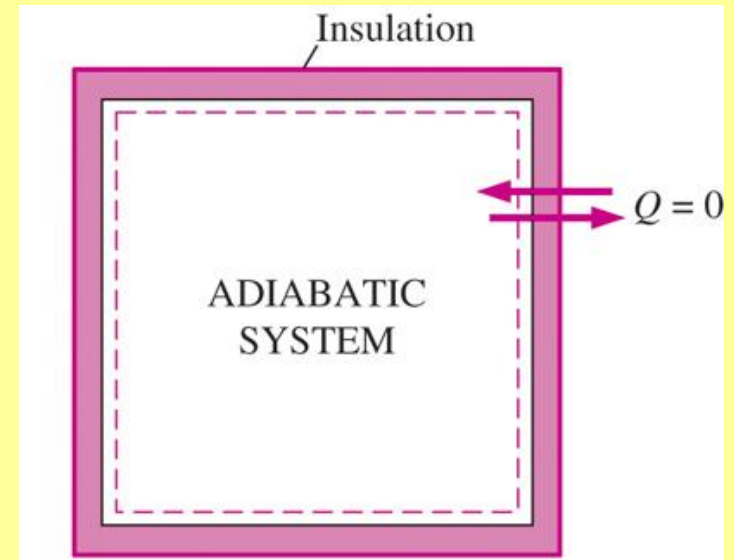
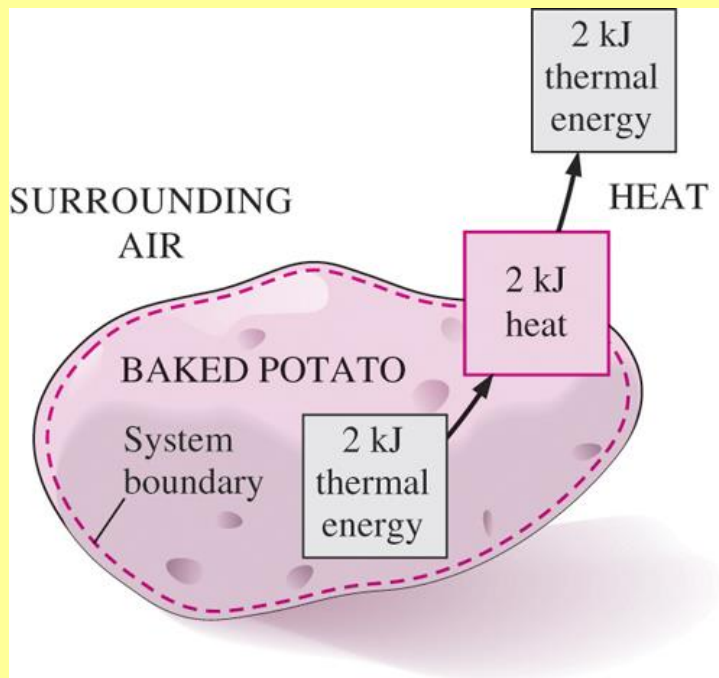
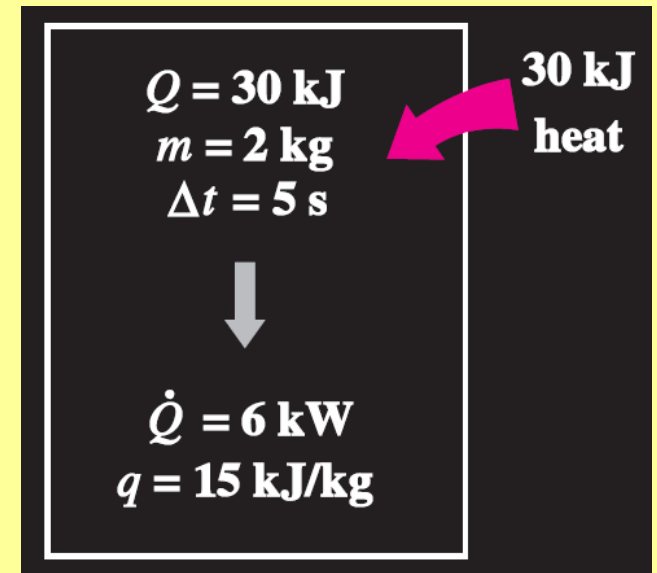
Maggiore è la differenza di temperatura maggiore è il calore trasferito nell'unità di tempo (J/s)

$$q = \frac{Q}{m} \quad (\text{kJ/kg})$$

Calore  
trasferito per  
unità di massa

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (\text{kJ})$$

Quantità di calore  
trasferito quando la  
potenza è costante

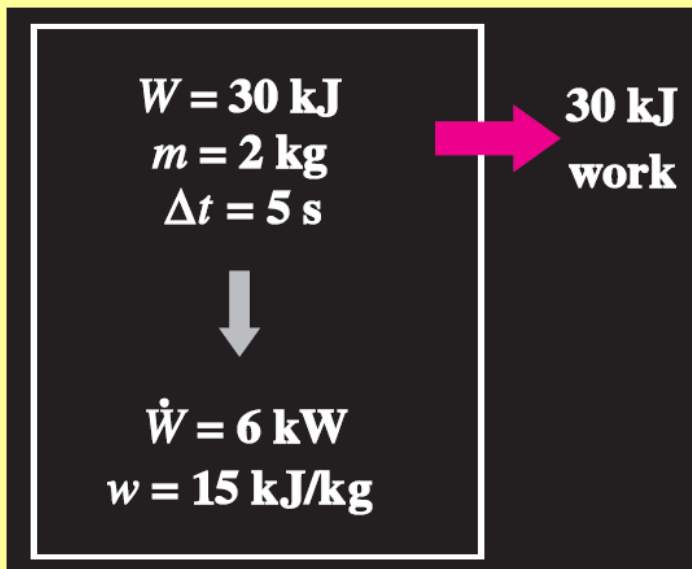


Processo adiabatico: non ci sono scambi di calore.

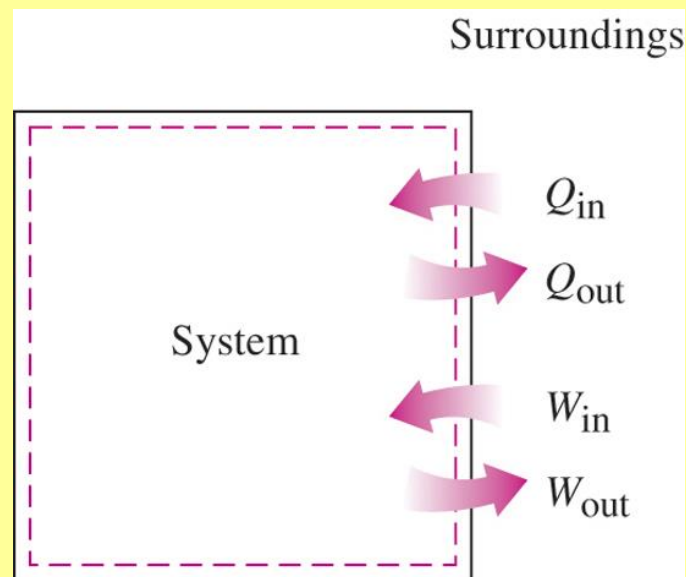
# ENERGIA TRASFERITA PER LAVORO

- **LAVORO:** *Energia trasferita quando c'è una forza che determina uno spostamento*
- **Convenzione dei segni:**
  - + **Calore trasferito a un sistema**
  - + **Lavoro fatto da un sistema**
  - - **calore ceduto da un sistema**
  - - **lavoro compiuto su un sistema**

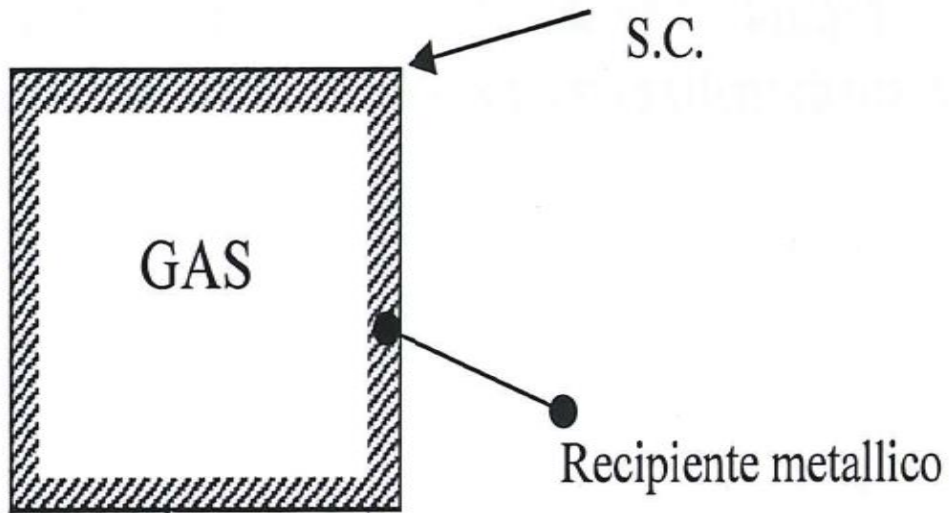
$$w = \frac{W}{m} \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{Lavoro per unità di massa}$$



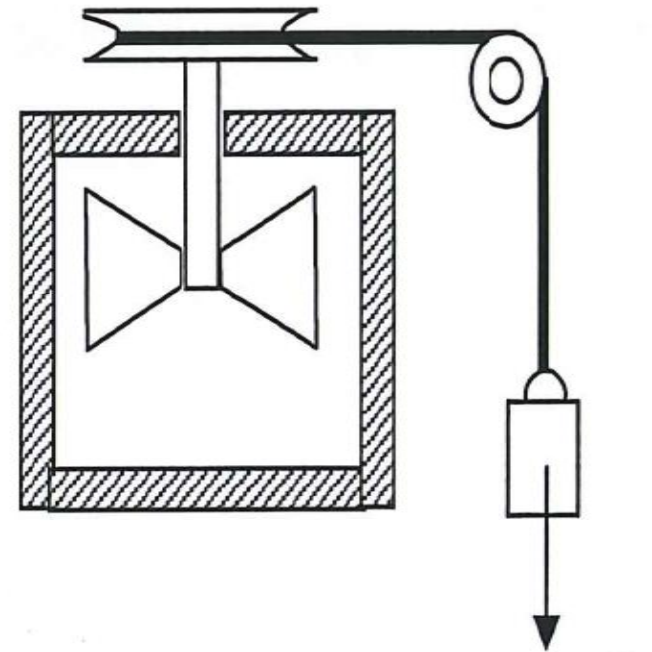
La potenza è il lavoro fatto per unità di tempo (kW)



# Sistemi chiusi



a)



b)

# Caratteristiche dei confini di un sistema rispetto agli scambi di energia

- **Confine adiabatico:**

confine che non consente gli scambi di calore tra il sistema e l'ambiente

- **Confine rigido:**

confine che non consente scambi energetici sotto forma di lavoro di variazione di volume

- **Confine mobile:**

confine che consente scambi energetici sotto forma di lavoro di variazione di volume

- Un sistema si dice **isolato** se attraverso il suo confine non avviene nessuna modalità di scambio energetico

# Calore e lavoro

- Entrambi sono forme di energia che attraversano i confini di un sistema.
- I sistemi possiedono energia ma non calore e lavoro.
- Entrambi sono associati a un *processo*, non a uno stato.
- Entrambi sono *funzioni di linea* non di stato (cioè la loro grandezza dipende dal percorso seguito durante una trasformazione).

