

Definizione di sistema termodinamico, proprietà termodinamiche e forme di energia

Lezione 21/02/2024

Contenuti della lezione

- Definire i concetti e i termini fondamentali della termodinamica
- Definizione di sistema, stato e trasformazione
- Definizione di proprietà termodinamiche del sistema

Sistemi e superfici di controllo

Sistema

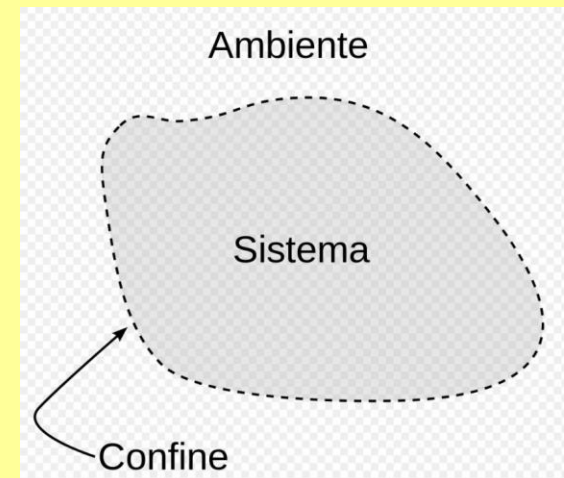
Si definisce “Sistema Termodinamico” una porzione di spazio o di materia separata dal resto dell’ambiente da una superficie di contorno, attraverso cui interagisce con l’esterno o con altri sistemi mediante scambi di energia e/o di massa.

Ambiente

Massa o regione al di fuori del sistema

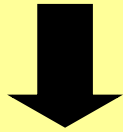
Superficie di controllo o Confine

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



Sistema e ambiente

Superficie di controllo
S.C.



Sistema

Ambiente

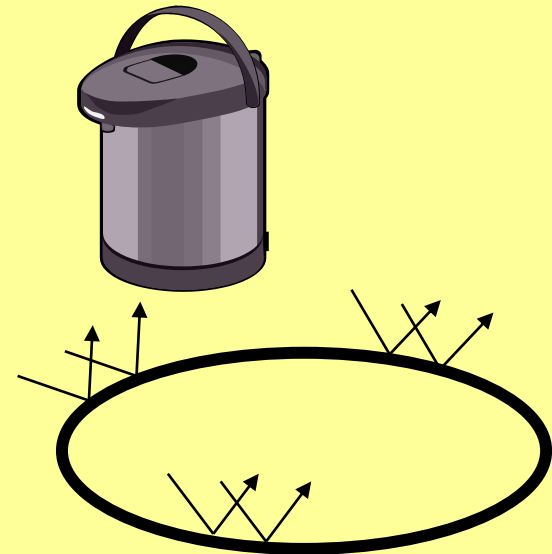
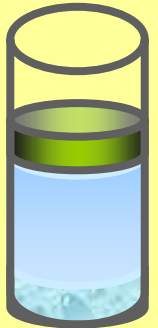
La superficie che separa il sistema dall'ambiente è la superficie di controllo.

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.

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 *mobile*.

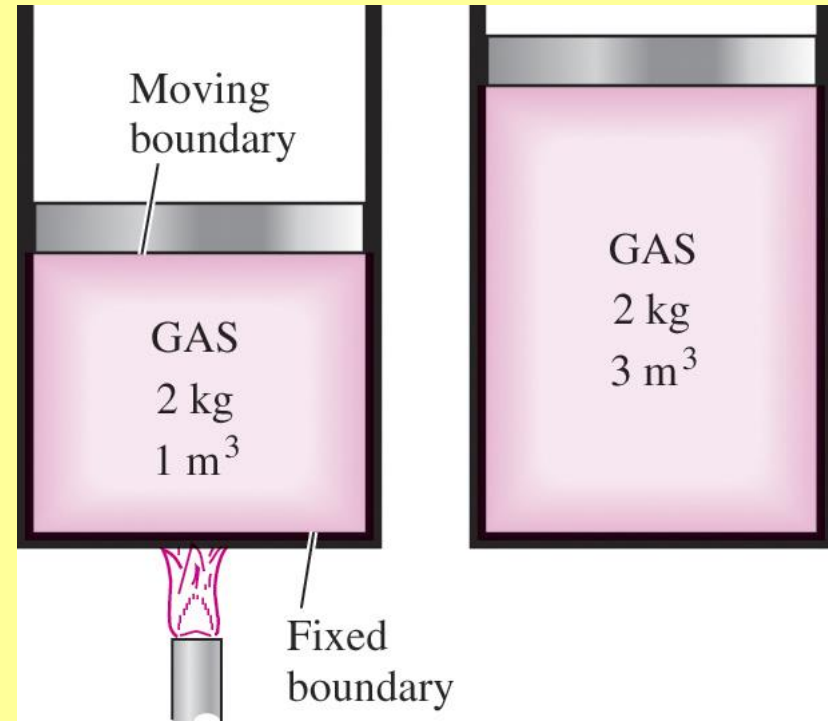
Sistema:

gas

Confine o contorno:

superfici interne del pistone e del cilindro

Il sistema è chiuso perché attraverso il suo confine non ci sono flussi di massa né in ingresso né in uscita



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

Sistema in cui attraverso la sua superficie di contorno avvengono flussi di massa (in entrata e/o in uscita).

Quindi, un serbatoio ermeticamente chiuso contenente un fluido costituisce **un sistema chiuso** poiché impedisce sia ingressi che fuoriuscite di massa

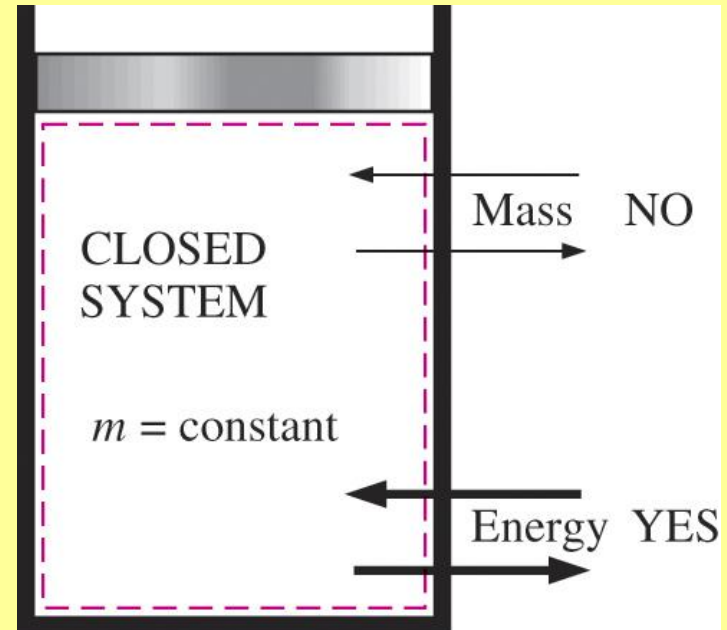
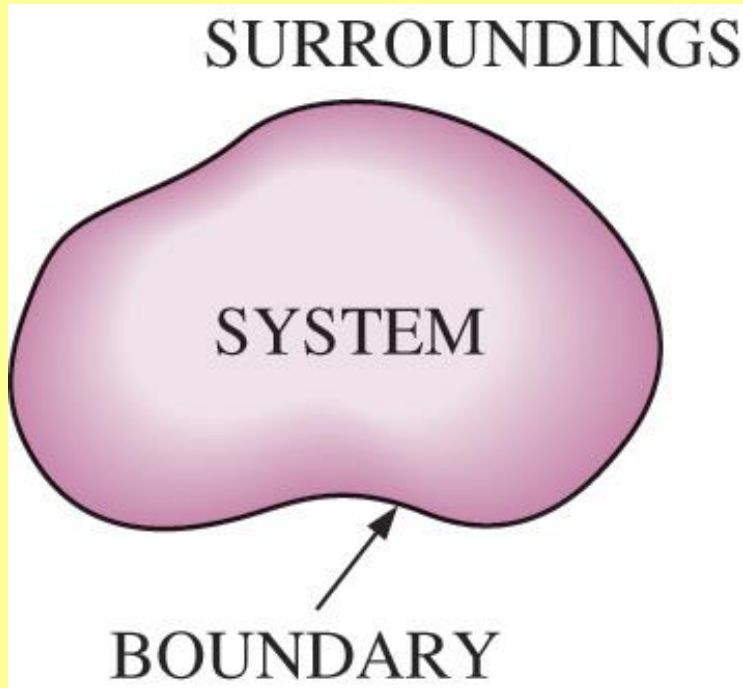
Uno scaldabagno, che prevede una sezione di ingresso ed una di uscita dell'acqua, subisce variazioni di massa ed è un **sistema aperto**.

Sistemi e volumi di controllo

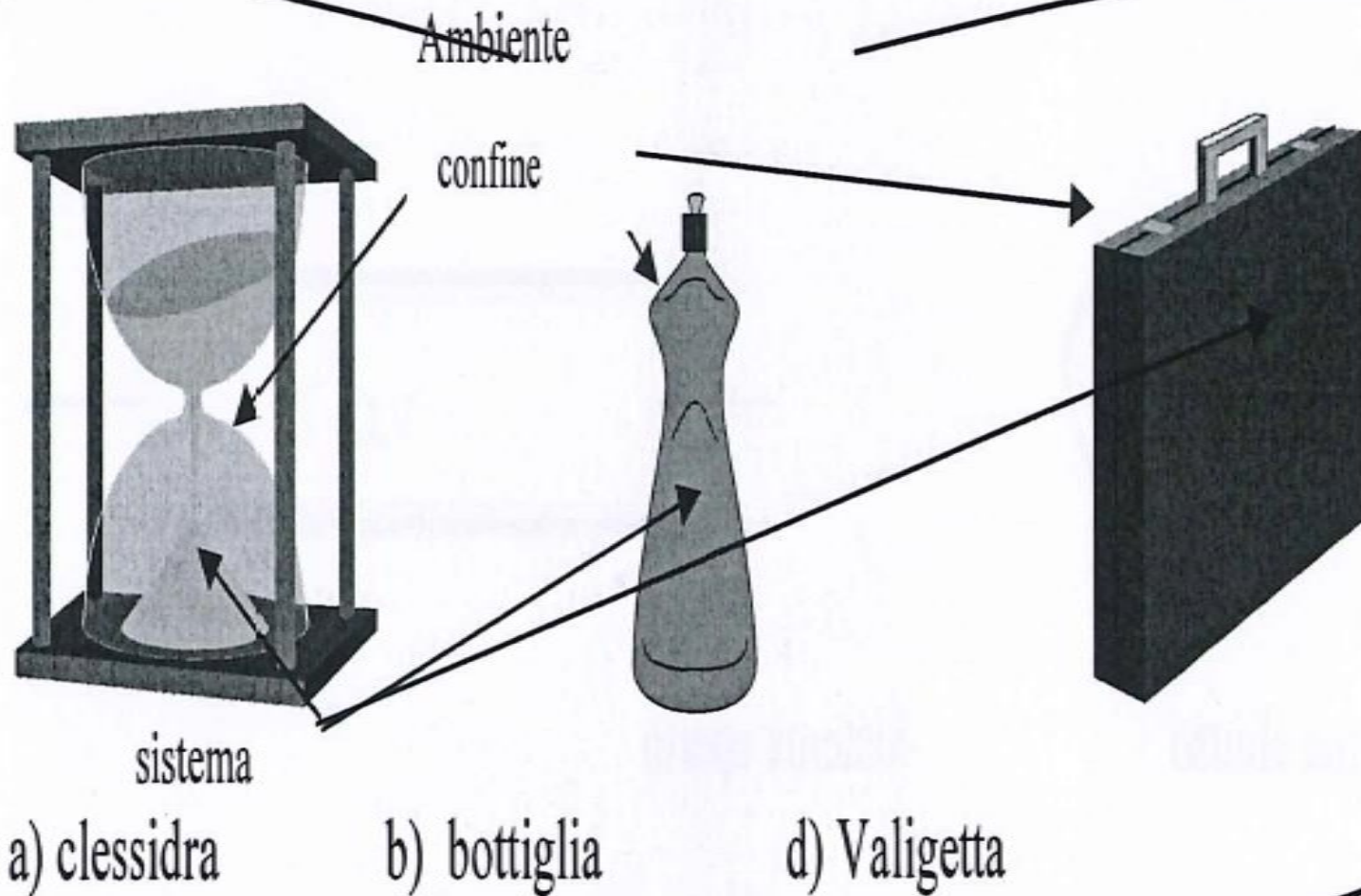
Sistema chiuso (Massa di controllo):

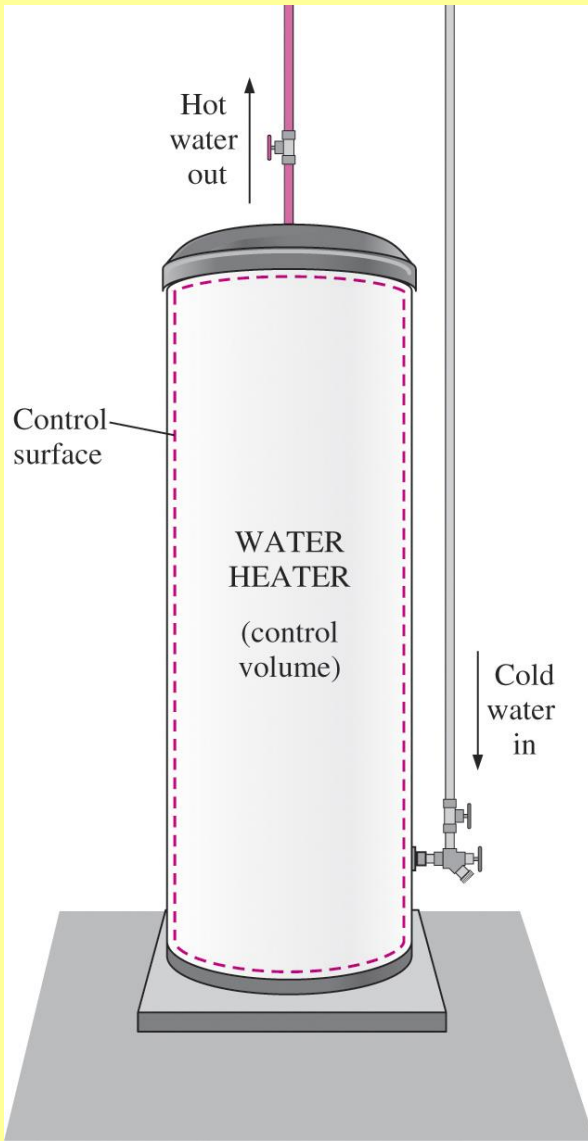
Una quantità invariabile di massa.

Non c'è attraversamento di massa attraverso il confine.



Sistemi chiusi





Un sistema aperto con un ingresso e un'uscita

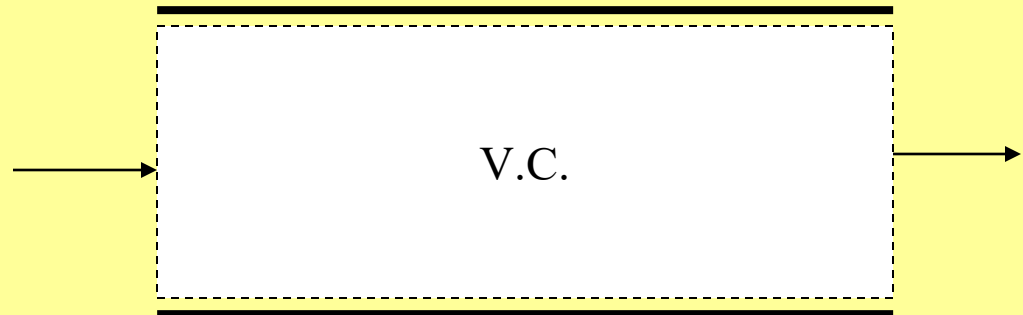
Sistema aperto (volume di controllo):

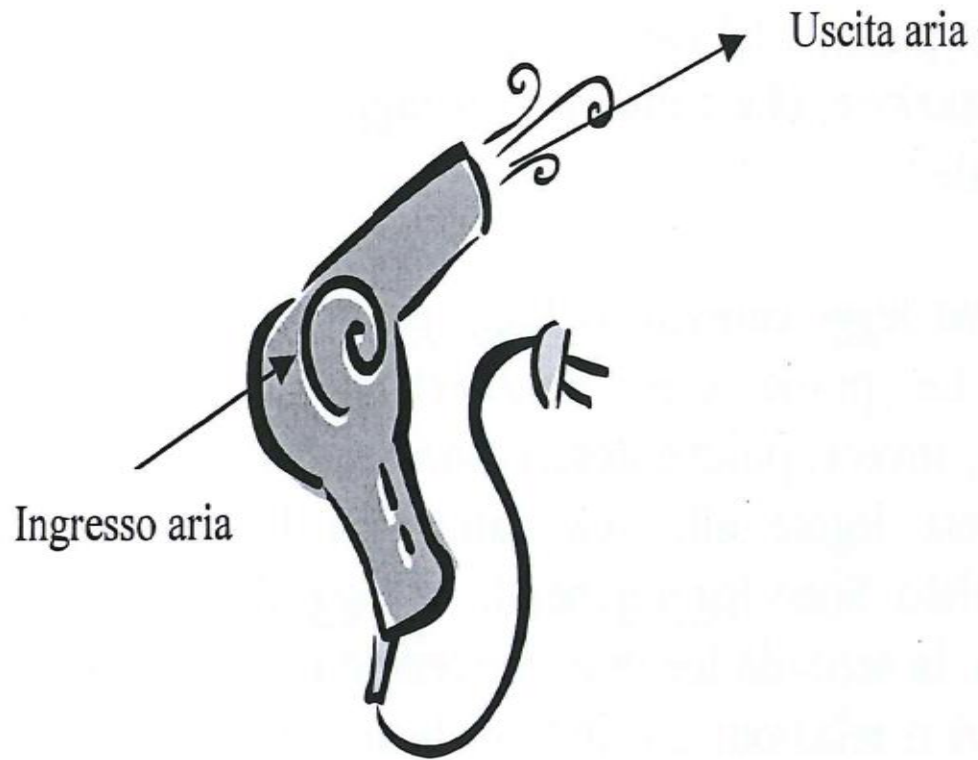
- Porzione di spazio in cui sia la massa che l'energia possono attraversare il confine del volume.

Superficie di controllo:

- È la superficie che racchiude il volume

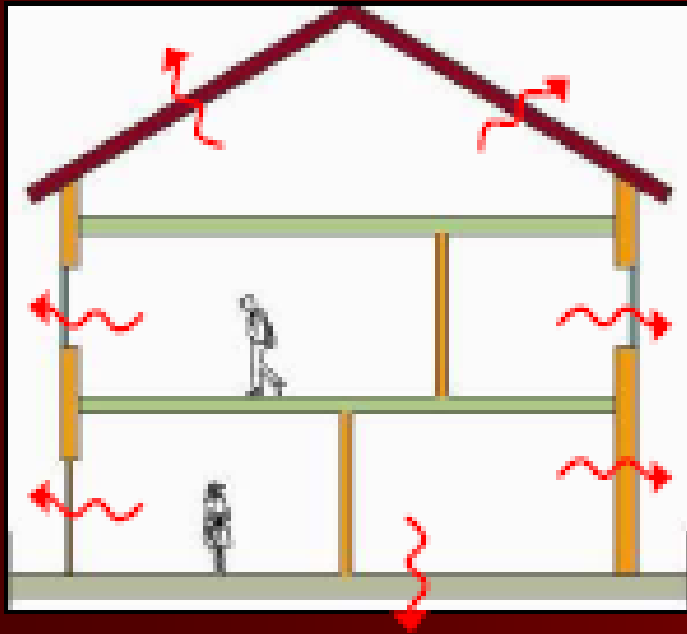
Poichè la massa è variabile risulta necessario stabilire convenzionalmente un volume di controllo che lo delimiti; tale volume è generalmente compreso tra le sezioni di ingresso e di uscita



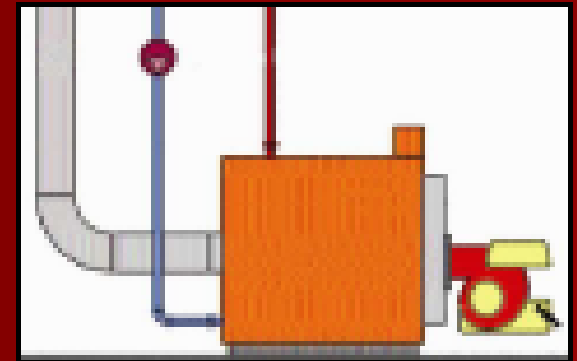
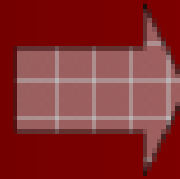


L'edificio è un sistema aperto che scambia con l'ambiente massa ed energia:

- energia termica (calore)
- massa d'aria



Edificio



Impianto

Per caratterizzare un sistema termodinamico ci vogliono le grandezze adeguate, che si chiamano **proprietà termodinamiche**

La proprietà è qualunque grandezza caratteristica del sistema.

intensiva

il valore è indipendente dall'estensione del sistema.

pressione, temperatura, densità, conducibilità termica

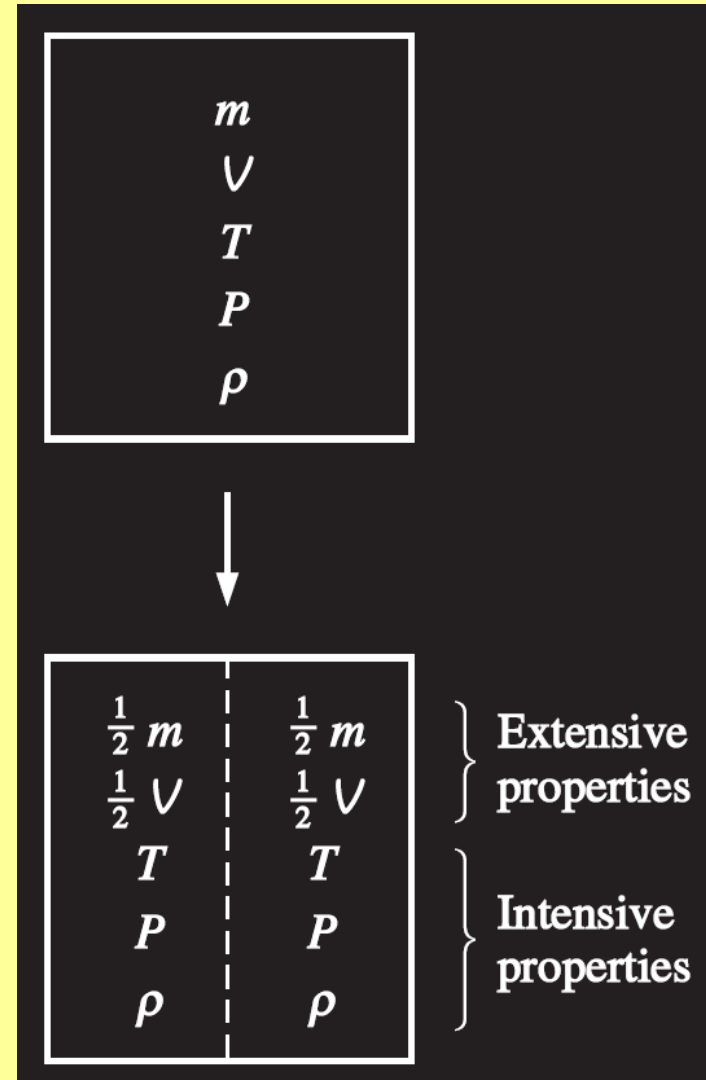
estensiva

il valore è dipendente dall'estensione del sistema.

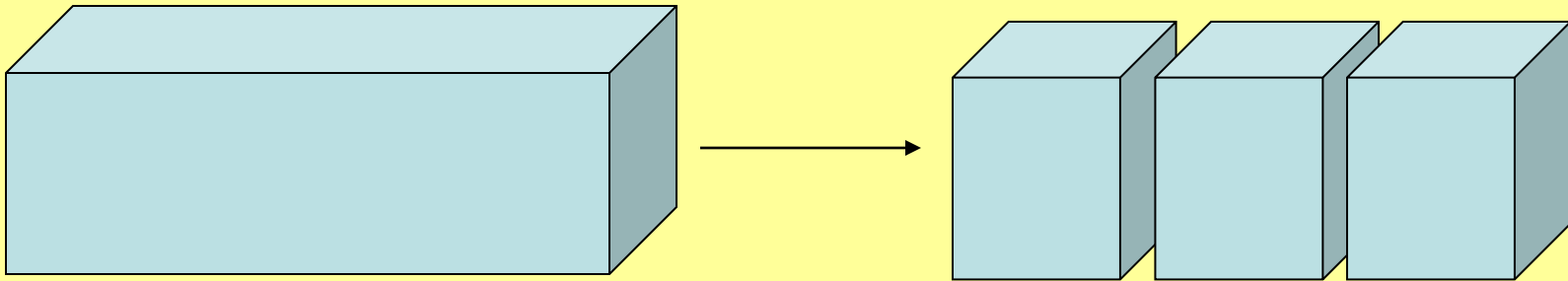
massa, volume, energia

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:

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

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

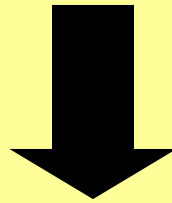
$$T_1 = T_2 = T_3$$

Allora volume e massa dipendono dall'estensione del sistema

Proprietà specifiche

proprietà estensiva

massa



proprietà specifica

**volume specifico,
energia specifica**

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 $\gamma = \text{Peso} / \text{volume} = P/V$

densità di massa $\delta = \text{Massa} / \text{volume} = m/V$

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, energia interna

DENSITÀ

Densità

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

Volume specifico

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

Densità è “massa per unità di volume”

Il volume specifico è volume per unità di massa

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



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

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

Peso specifico

Il peso di un volume unitario di sostanza

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \frac{m}{V} \cdot g = \rho \cdot g \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

DENSITÀ

Densità

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

La densità di una sostanza dipende dalla temperatura e dalla pressione.

Per i gas la densità è direttamente proporzionale alla pressione e inversamente proporzionale alla temperatura

Per liquidi e solidi la densità rimane costante al variare della pressione (variazione trascurabile). Quindi liquidi e solidi sono **INCOMPRESSIBILI**.

Stato di equilibrio

- Quando un sistema non è soggetto a nessun cambiamento, esso rimane nella sua iniziale condizione di **equilibrio** e le sue proprietà non sono variate. Quindi tutte le proprietà possono essere misurate o calcolate ovunque al suo interno, per ottenere un insieme di proprietà per descrivere completamente la condizione o lo stato del sistema stesso (**stato di equilibrio**).
- Un sistema in uno stato di equilibrio non è soggetto ad alcun cambiamento quando è un sistema isolato dal suo ambiente

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:

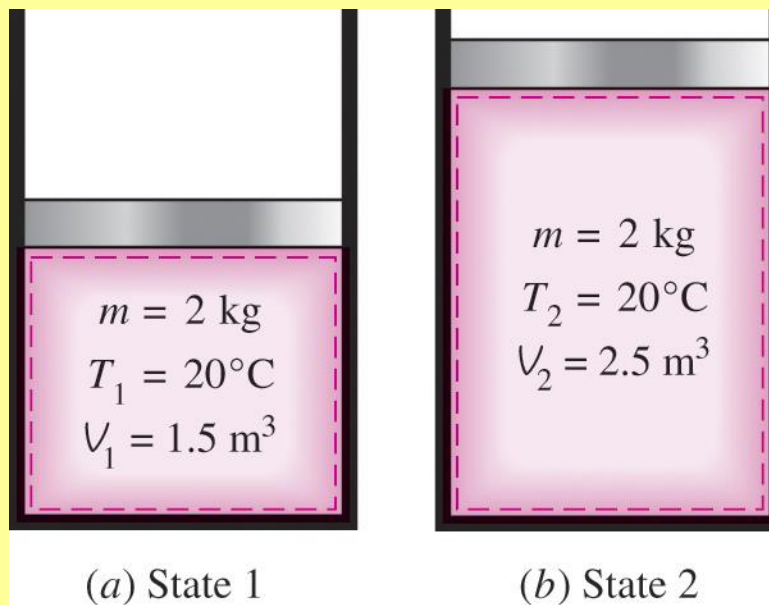
Se non esiste moto relativo tra le sue parti, verificandosi evidentemente una condizione di equilibrio tra le forze ad esso applicate. Conseguenza dell'equilibrio meccanico è un valore uniforme della **PRESSIONE** in ogni suo punto.

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



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.

Questo significa che il sistema ha scambiato (ceduto/assorbito energia).

A fronte di tale scambio è variato il contenuto energetico al suo interno.

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.

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:

- energia interna

Forme macroscopiche di energia:

Forme di energia possedute da un sistema rispetto a un sistema di riferimento esterno:

- energia cinetica
- energia potenziale

FORME DI ENERGIA

- **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.

In dettaglio:

FORME MACROSCOPICHE DI ENERGIA

•Energia cinetica:

l'energia posseduta dai corpi in movimento e si esprime con la relazione: $E_c = 1/2 mv^2$, 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: $E_p = mgz$, ove m é la massa del corpo (kg), g é l'accelerazione di gravità ($9,81 \text{ m/s}^2$) ed z é l'altezza dal suolo a cui si trova il corpo (m)

FORME MICROSCOPICHE

•Energia interna:

l'energia termica a livello molecolare ed è dovuta all'agitazione molecolare interna delle particelle che lo costituiscono.

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

Energia cinetica

$$E_p = mgz$$

Energia potenziale

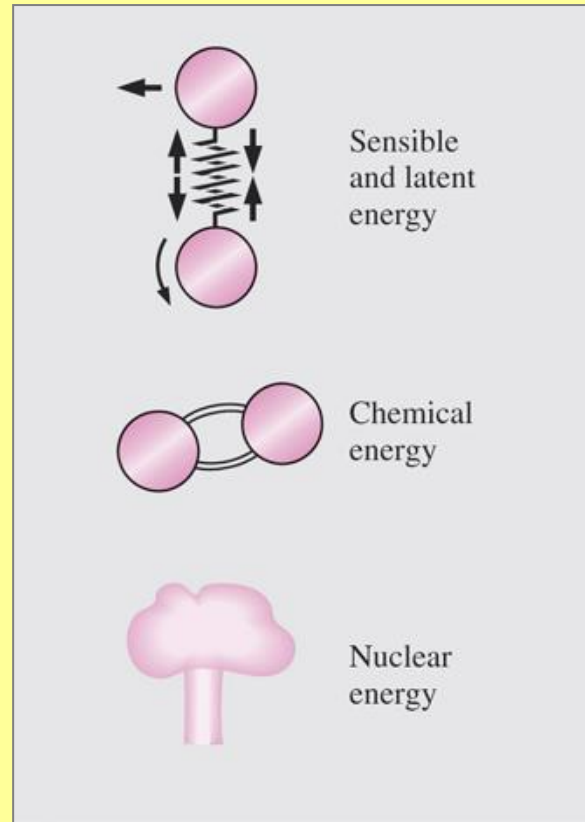
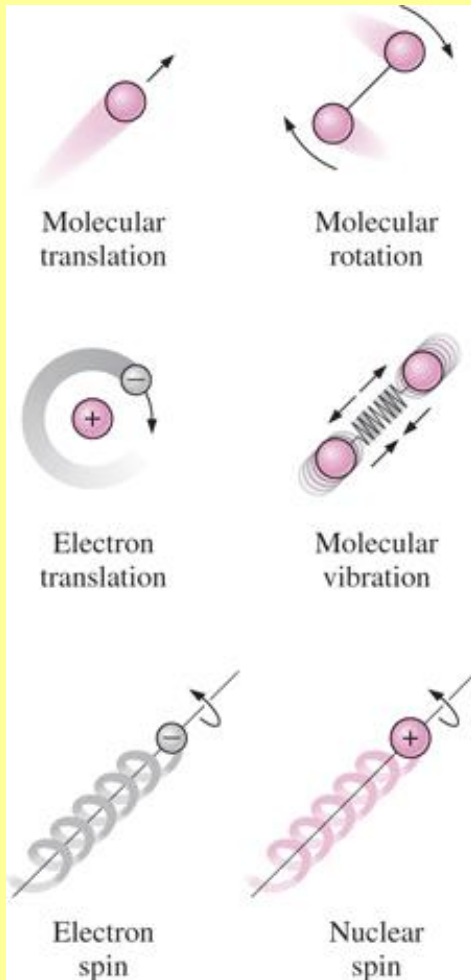
Energia totale di un sistema

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

Energia totale di un sistema per unità di massa

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

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 Interna

= Sensibile + Latente + Chimica + Nucleare

In un determinato stato di equilibrio il sistema possiede una certa energia interna. Se il sistema subisce una trasformazione verso un altro stato di equilibrio, l'energia interna varia per tutta la trasformazione fino al valore finale nel nuovo stato di equilibrio del sistema stesso.

- L'energia totale di un sistema E può essere immagazzinata nel sistema e può essere vista come somma di **forme di energia statiche (di stato)**
- Le forme di energia non immagazzinate possono essere viste come **forme dinamiche di energia** o **di interazione**.
- Le forme 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**.

Energia

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

a) Modalità **calore**

b) Modalità **lavoro**

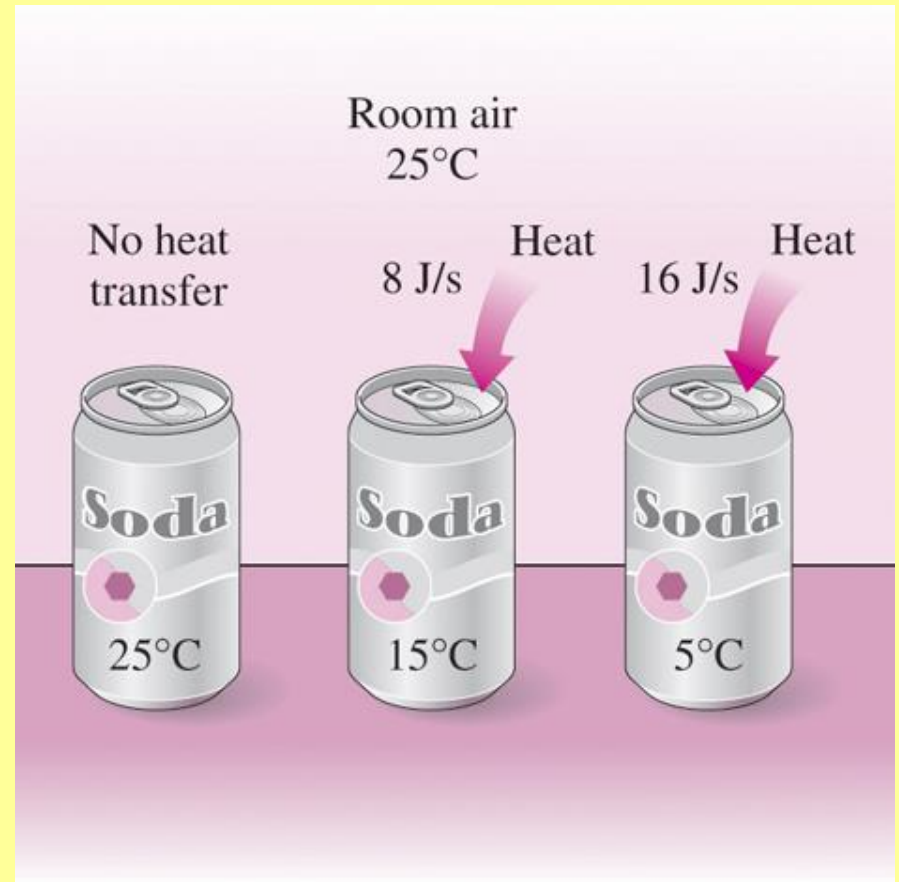
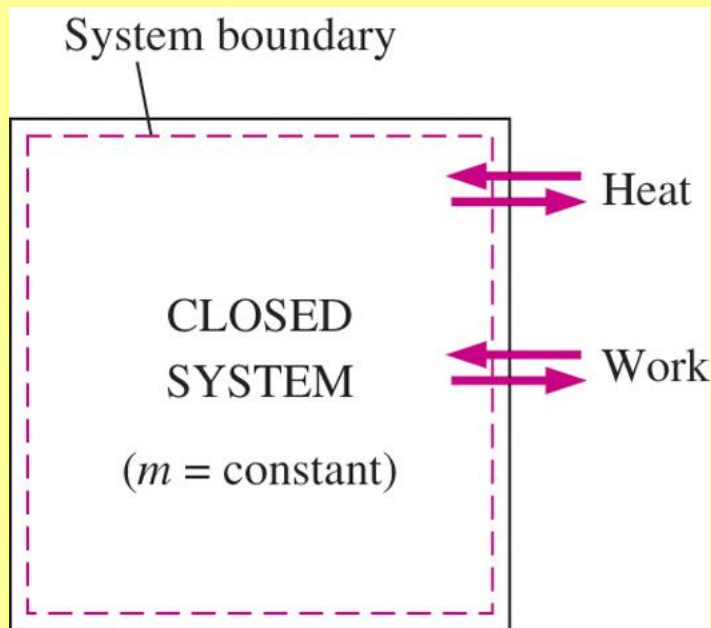
c) A seguito di trasferimento di massa non realizzabile in un sistema chiuso

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

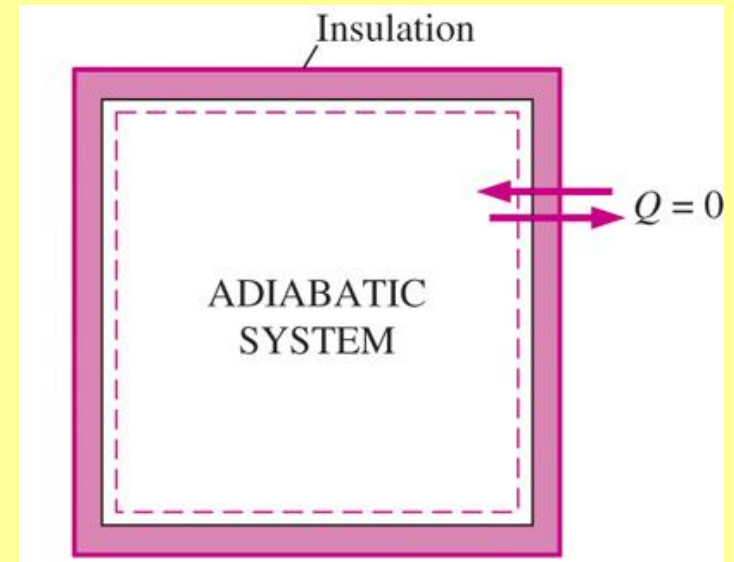
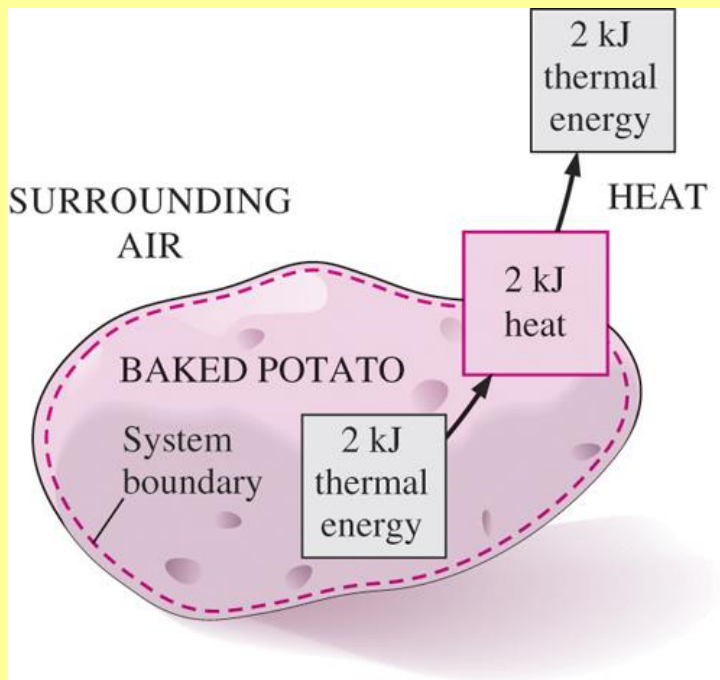
2. Si parla di energia trasmessa sotto forma di lavoro se la causa è l'azione di una forza (pressione) risultante diversa da zero

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



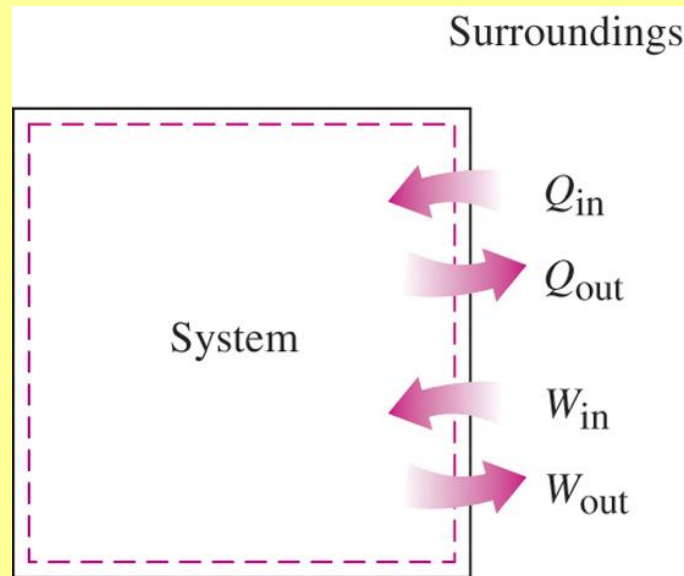
Maggiore è la differenza di temperatura maggiore è il calore trasferito nell'unità di tempo (J/s)



Processo adiabatico: non ci sono scambi di calore.

Convenzione dei segni

- **+ Calore trasferito a un sistema**
- **+ Lavoro fatto da un sistema**
- **- calore ceduto da un sistema**
- **- lavoro compiuto su un sistema**



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:**

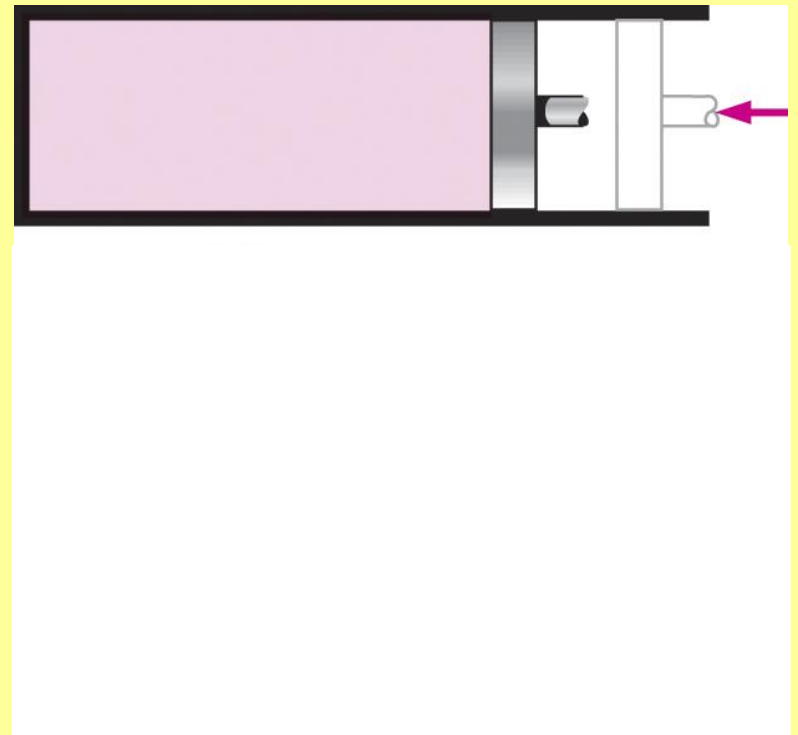
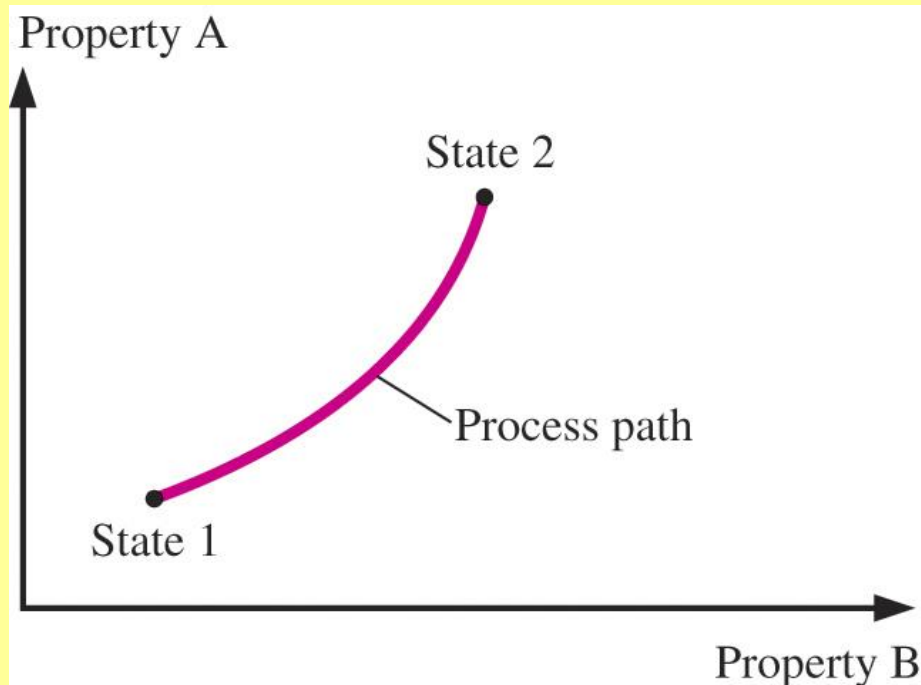
confine che consente scambi energetici sotto forma di lavoro di variazione di volume

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

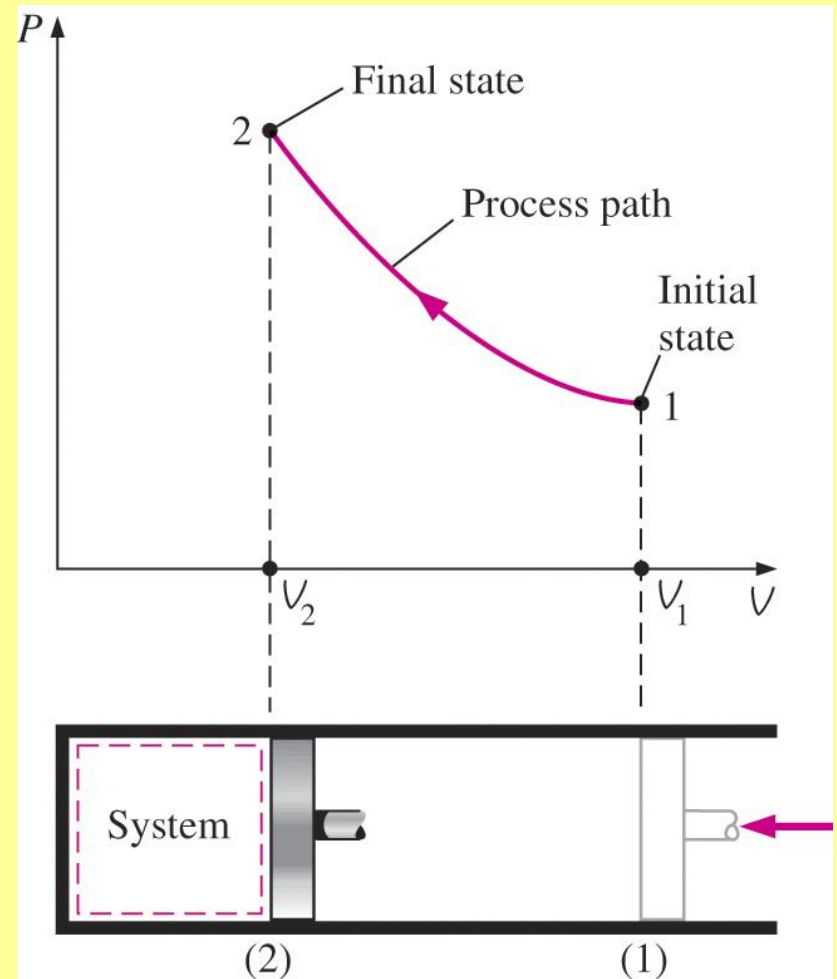
Trasformazione o processo: Cambiamento del sistema, in virtù del quale un sistema passa da uno stato di equilibrio a un altro.

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 isotermica:** Processo in cui la T rimane costante.
- **Trasformazione isobarica:** Processo in cui la P rimane costante.
- **Trasformazione isocora:** Processo in cui v rimane costante.



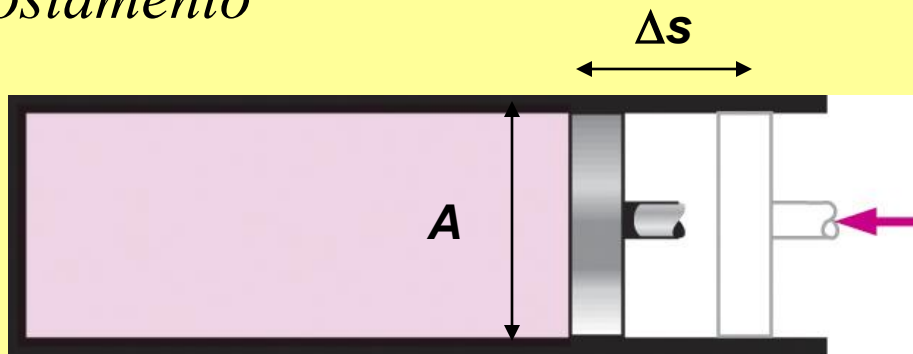
Il diagramma P - V di un processo di compressione.

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.

LAVORO:

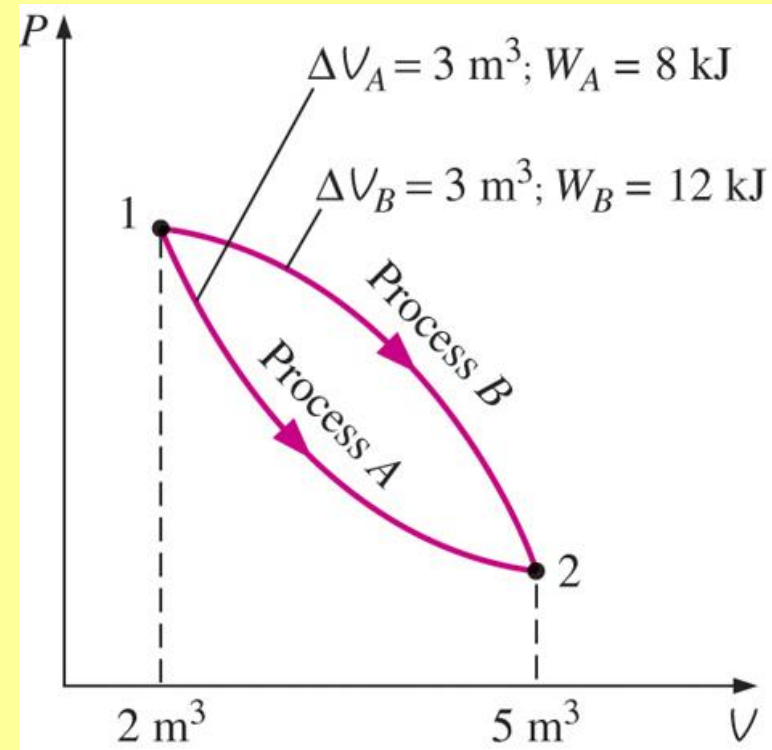
Energia trasferita quando c'è una forza che determina uno spostamento



$$L = F \cdot s = p \cdot A \cdot \Delta s = p \cdot \Delta V$$

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).



Calore specifico

Il calore specifico di una sostanza è la quantità di calore necessaria per variare la temperatura di 1 kg di sostanza di 1 K ($\Delta T = 1$):

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad \left[\frac{J}{kg K} \right]$$

da cui

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad [J]$$

Se $\Delta T > 0$ $Q > 0$, pertanto la sostanza si riscalda

Se $\Delta T < 0$ $Q < 0$, pertanto la sostanza si raffredda

Calore specifico

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad \left[\frac{J}{kg K} \right]$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad [J]$$

Osservazioni:

1. Si considerino due masse di una stessa sostanza (il calore specifico è lo stesso perché è una proprietà della sostanza e non della massa) e si supponga di volerle riscaldare (raffreddare) entrambe dello stesso ΔT , allora la quantità di calore Q che occorre fornire è direttamente proporzionale alla massa maggiore, cioè si deve fornire più calore per riscaldare la massa più grande.
2. A parità di massa e di ΔT , tanto maggiore è il calore specifico tanto maggiore è la quantità di calore Q necessaria per indurre la variazione di temperatura desiderata

Capacità termica

La CAPACITA' TERMICA di un sistema si definisce come “la quantità di calore scambiata da un sistema durante una trasformazione per unità di variazione di temperatura”.

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

Con grandezze infinitesime:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad [J/K]$$

L'energia è una proprietà estensiva di un sistema.

L'energia totale di un sistema può essere immagazzinata nel sistema e può essere vista come somma di *forme di energia statiche*.

Proprietà dell'energia
(Postulato dell'energia*)

L'energia è una proprietà termodinamica estensiva (che gode della proprietà additiva) e conservativa

***Postulato: Principio indimostrato la cui validità si ammette a priori per evidenza o convenzione allo scopo di fornire la spiegazione di determinati fatti o di costruire una teoria**

Postulato dell'energia

L'energia è una proprietà termodinamica estensiva (che gode della proprietà additiva) e conservativa



❖ **L'energia non può essere generata** $E_{\text{gen}} = 0$

❖ **L'energia non può essere distrutta** $E_{\text{dis}} = 0$

Questo significa che **durante una trasformazione**, cioè un processo in cui un sistema termodinamico scambia calore e lavoro, **l'energia totale del sistema si converte da una forma a un'altra, ma né si genera né si distrugge**

❖ **L'energia non può essere generata** $E_{\text{gen}} = 0$

❖ **L'energia non può essere distrutta** $E_{\text{dis}} = 0$



Durante una trasformazione, il fatto che l'energia del sistema vari cosa significa? Significa che, se l'energia diminuisce, questa quantità che non c'è più nel sistema non significa che si sia distrutta, ma è passata ad altro sistema o ceduta all'ambiente sotto forma energetica altra (calore o lavoro), andando a variare l'energia totale del sistema ricevente.

Allo stesso modo, se c'è aumento di energia, questa non si è creata nel sistema ma viene dall'ambiente sotto forma di lavoro o calore, perché c'è stata una sollecitazione termica o meccanica.

Energia

- Definizione:
 - Capacità di un sistema di compiere lavoro (Capacità di evolversi da uno stato ad un altro)

Cosa succede a E_t se il sistema è sottoposto ad una sollecitazione termica e/o meccanica?

Il sistema subisce una trasformazione, ossia passa da uno stato di equilibrio iniziale a uno stato di equilibrio finale, dopo aver scambiato calore e/o lavoro:

$$E_{t,i} \longrightarrow E_{t,f}$$

Detta U l'energia interna di un sistema termodinamico

Energia cinetica

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

Energia potenziale

$$E_p = mgz$$

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**

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

Energia

Essa può essere trasmessa secondo tre diverse modalità:

a) Modalità **calore**

b) Modalità **lavoro**

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