



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

## Lezione 02 - Principi di conservazione

**Corso di Fisica Tecnica**  
**a.a. 2019-2020**

***Prof. Gaël R. Guédon***  
Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano

## Obiettivi della lezione

- Definire il **primo principio** della termodinamica
- Definire il **secondo principio** della termodinamica
- Definire le variabili di stato quali **energia interna** e **entropia**

## I principi di conservazione

- Conservazione della **massa**
- Conservazione dell'**energia** (primo principio della termodinamica)
- Conservazione dell'**entropia** (secondo principio della termodinamica)

## Il primo principio della termodinamica per sistemi chiusi

### ➤ Formulazione **assiomatica**

«Per un sistema semplice all'equilibrio è definita una proprietà intrinseca (funzione di stato) detta **energia interna**  $U$  la cui variazione è il risultato di interazioni del sistema con l'ambiente esterno»

$$\Delta U = Q^{\leftarrow} - L^{\rightarrow}$$

- $\leftarrow$  indica uno scambio dall'esterno verso il sistema (**entrante**)
- $\rightarrow$  indica uno scambio dal sistema verso l'esterno (**uscente**)

**Lavoro  $L$ :** energia fornita ad un sistema termodinamico semplice che sia riconducibile alla variazione di quota di un grave

**Calore  $Q$ :** energia fornita ad un sistema termodinamico semplice che non è riconducibile alla variazione di quota di un grave

«L'energia interna totale di un sistema, cioè l'energia interna riferita alla intera massa del sistema,  $M$ , è una quantità estensiva e perciò additiva»

$$U = M \cdot u$$

Scritto in forma differenziale il primo principio assume la forma:

$$du = \delta q^{\leftarrow} - \delta l^{\rightarrow}$$

$d$  è un differenziale esatto

$\delta$  indica il differenziale di una grandezza che **non è una funzione di stato**

## Conclusioni

- Essendo  $U$  una quantità **estensiva** (additiva), se il sistema  $Z$  è composto da due (o più) sottosistemi  $A$  e  $B$ , l'energia interna totale è:

$$U_Z = U_A + U_B$$

- In un **sistema isolato** (semplice o composto) il bilancio energetico diviene:

$$\Delta U_{isolato} = 0$$

## Conclusioni

- Per un Sistema che subisce una **trasformazione ciclica** si ha:

$$\Delta U_{ciclo} = 0$$

- Per un **sistema Z non isolato** composto da due (o più) sottosistemi A, B, ..., la variazione della sua energia interna totale è:

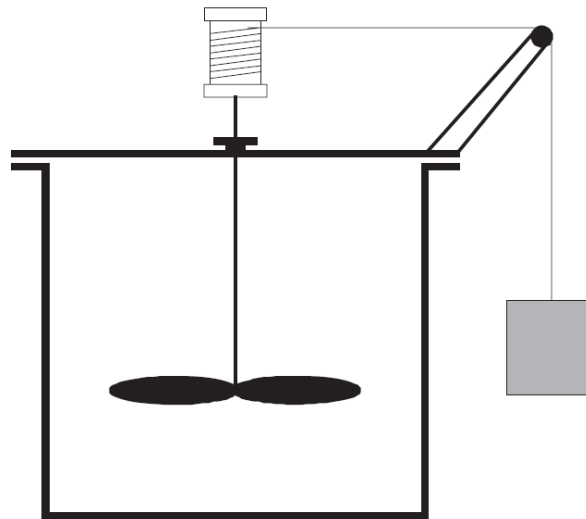
$$\Delta U_Z = \Delta U_A + \Delta U_B + \dots = Q_Z^{\leftarrow} - L_Z^{\rightarrow}$$



### Formulazione classica del primo principio

«L'energia che è immagazzinata in un sistema e che non va a cambiare né l'energia cinetica del centro di massa, né quella potenziale (e neanche l'energia elastica, o chimica, o elettrica) è chiamata energia interna.

### Esperienza di Joule



## Esperienza di Joule

Per i sistemi conservativi

$$\delta L = dE_c + dE_p$$

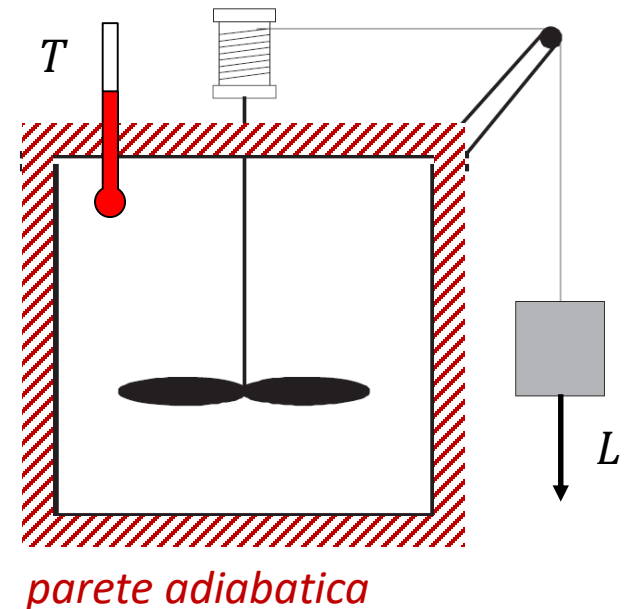
$\swarrow$   $\searrow$   
*energia cinetica* *energia potenziale*  
 $(dE_c = 0)$   $(dE_p = 0)$

L'esperimento dimostra che  $dE_c + dE_p - \delta L \neq 0$

La temperatura del sistema è però aumentata. E' un fenomeno senz'altro correlato alla variazione di un'energia immagazzinata che viene chiamata

**Energia Interna**

$$\delta L = dU \quad L = \Delta U \quad (\text{in termini finiti})$$



## Altra esperienza di Joule

«Equivalente meccanico della caloria»

Joule osservò sperimentalmente che:

$$\begin{aligned} Q_{ac} &= L_{ac} & Q_{bc} &= L_{bc} \\ Q_a + Q_c &= L_a + L_c & Q_b + Q_c &= L_b + L_c \end{aligned}$$

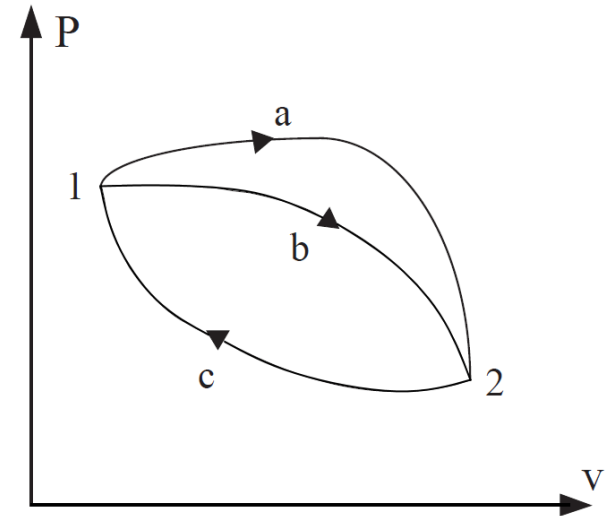
Per sottrazione

$$\begin{aligned} Q_a - Q_b &= L_a - L_b \\ Q_a - L_a &= Q_b - L_b \end{aligned}$$



$$\Delta U_{12a} = \Delta U_{12b}$$

Energia interna funzione di stato



## Il secondo principio della termodinamica per sistemi chiusi

### ➤ Formulazione **assiomatica**

«In un sistema termodinamico all'equilibrio esiste una funzione intrinseca dello stato del sistema (funzione di stato) detta **entropia**  $S$  la cui variazione per una trasformazione reversibile è data da»

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q_{rev}^{\leftarrow}}{T}$$

## Il secondo principio della termodinamica per sistemi chiusi

«L'entropia totale di un sistema, cioè l'entropia riferita all'intera massa del sistema,  $M$ , è una quantità estensiva»

$$S = M \cdot s$$

«La variazione di entropia totale di un sistema isolato sede di trasformazioni termodinamiche è sempre maggiore di zero e tende a zero con il tendere dei processi alla reversibilità»

$$\Delta S_{isolato} \geq 0$$

## Conclusioni

- Essendo  $S$  una quantità estensiva (additiva), se il sistema  $Z$  è composto da due (o più) sottosistemi  $A$ ,  $B$ , ..., l'entropia totale è

$$S_Z = S_A + S_B$$

$$\Delta S_Z = \Delta S_A + \Delta S_B$$

## Conclusioni

- In un sistema chiuso sede di trasformazioni termodinamiche il **bilancio entropico** può essere scritto come

$$\Delta S = S_Q^{\leftarrow} + S_{irr}$$

in cui il termine  $S_Q^{\leftarrow}$  rappresenta l'**entropia entrante** attraverso i confini del sistema come conseguenza dello scambio di calore  $Q$  (primo assioma), mentre  $S_{irr}$  (sempre maggiore di zero, in base al terzo assioma) è il termine di **generazione entropica per irreversibilità**.

Segno di  $S_Q^{\leftarrow}$  è uguale al segno di  $Q^{\leftarrow}$ .

### Alcune osservazioni sul primo e secondo principio

- Il primo principio non individua il verso delle trasformazioni spontanee. Il primo principio non precisa per esempio che il calore fluisce nel verso delle temperature decrescenti.
- Non pone alcun limite alla possibilità di trasformazione di calore in lavoro, ma si limita a postularne la equivalenza metrologica.
- Non stabilisce le condizioni di equilibrio termico e meccanico non vincolato.
- Il secondo principio colma le lacune individuate nei punti precedenti.



## Calcolo delle grandezze termodinamiche

Si può dimostrare che, in alcuni casi semplici, è possibile il calcolo dei diversi termini che compaiono nel primo e nel secondo principio della termodinamica ( $\Delta U, Q, L, \Delta S$ ) in funzione delle grandezze direttamente misurabili quali pressione ( $P$ ), temperatura ( $T$ ) e volume ( $V$ )