

# **Le equazioni di bilancio del sistema termodinamico**

**Il principio di conservazione della massa**

**Il principio di conservazione dell'energia**

**Primo principio della termodinamica**

**Il bilancio entropico**

**Secondo principio della termodinamica**

## *Sistemi chiusi*

# **Il principio di conservazione dell'energia**

## *Primo principio della termodinamica*

1. 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

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

In questa relazione  $\Delta U$  rappresenta la variazione della funzione di stato energia interna mentre  $Q^{\leftarrow}$  e  $L^{\rightarrow}$  sono le possibili interazioni calore e lavoro del sistema semplice con l'esterno.

Il calore è considerato positivo entrante e il lavoro è considerato positivo uscente.

**LAVORO:** energia fornita ad un sistema termodinamico semplice che sia riconducibile alla variazione di quota di un grave.

**CALORE:** 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 all'intera massa del sistema  $m$ , è una quantità estensiva:

$$U = m \cdot u$$

---

Scritto in forma differenziale il primo postulato assume la forma:

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

# Conclusioni 1

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

$$U_Z = U_A + U_B$$

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

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

## Conclusioni 2

**Per un sistema che subisce una trasformazione ciclica si ha:**

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

**Per un sistema sistema Z non isolato composto da due (o più) sottosistemi A, B, ..., l'energia interna totale è:**

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

# **La conservazione dell'energia**

## **Formulazione classica del primo principio della termodinamica**

**L'energia che è immagazzinata in un sistema e 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**



# L'ESPERIENZA DI JOULE

Per i sistemi conservativi:

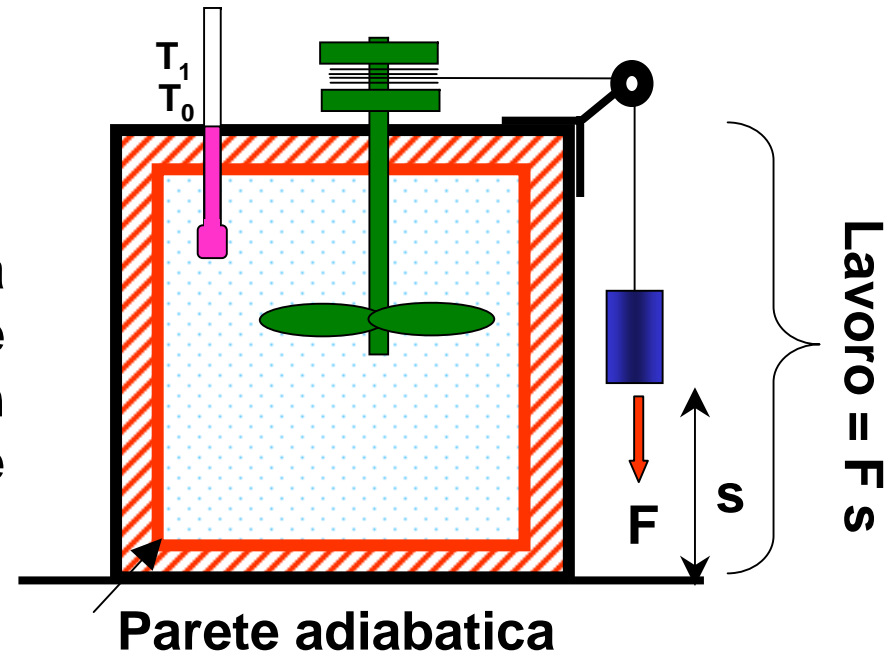
$$\delta L = dE_k + dE_p$$

Il lavoro introdotto nel sistema non varia l'energia cinetica e l'energia potenziale del sistema, in quanto l'acqua, dopo l'agitazione iniziale torna in quiete.

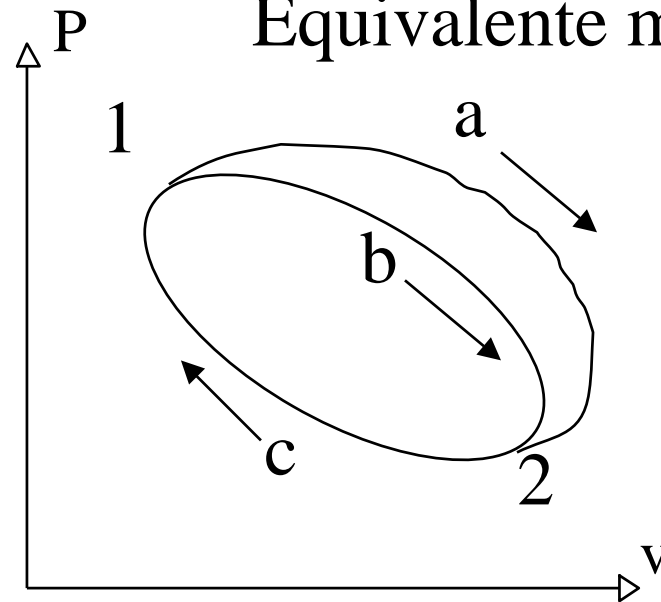
$$dE_k + dE_p - \delta L \neq 0$$

Il sistema ha però aumentato la temperatura. E' un fenomeno senz'altro correlato alla variazione di una energia immagazzinata che viene chiamata **ENERGIA INTERNA**.

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



## Equivalente meccanico della caloria



$$Q_{ac} = L_{ac}$$

$$Q_a + Q_c = L_a + L_c$$

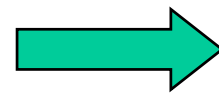
$$Q_{bc} = L_{bc}$$

$$Q_b + Q_c = L_b + L_c$$

Per sottrazione

$$Q_a - Q_b = L_a - L_b$$

$$Q_a - L_a = Q_b - L_b$$



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

Energia interna funzione di stato

# Il bilancio entropico

## *Secondo principio della termodinamica*

1. 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:

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

2. L'entropia totale di un sistema, cioè l'entropia riferita all'intera massa del sistema  $m$ , è una quantità estensiva:

$$S = m \cdot s$$

3. 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:

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

# Conclusioni 1

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

$$S_Z = S_A + S_B$$

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

# Conclusioni 2

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

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

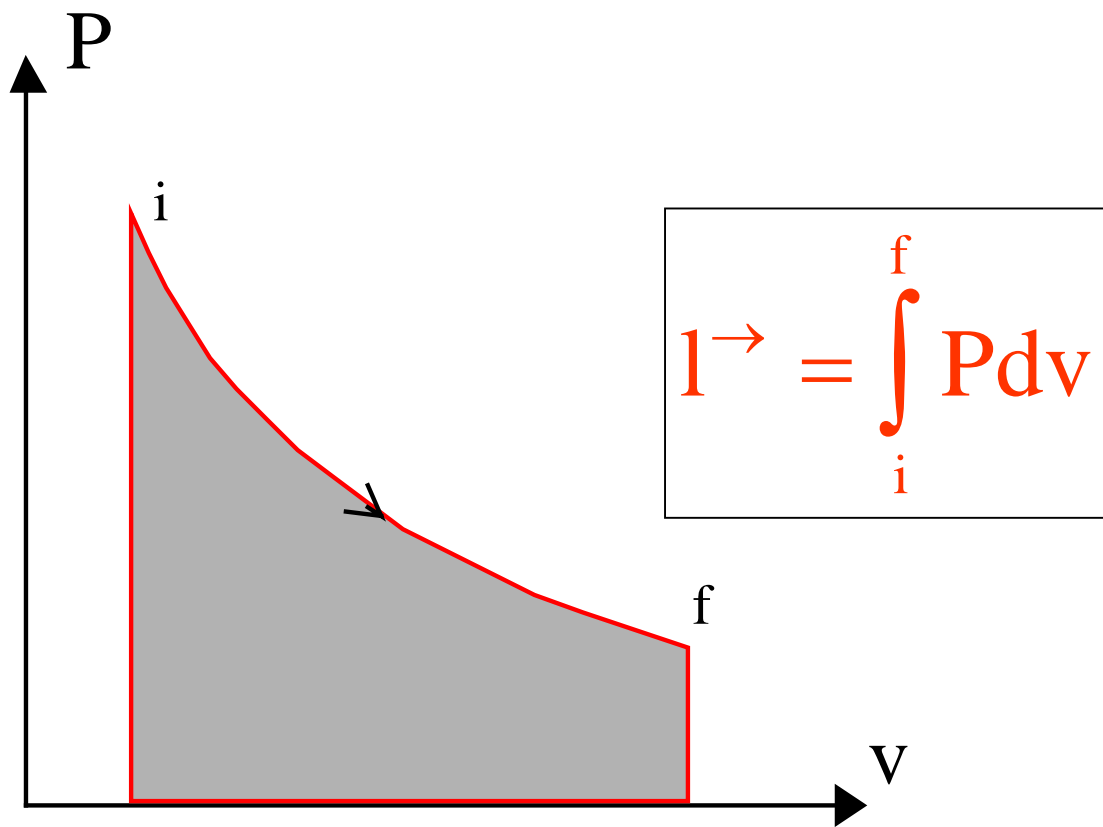
in cui il termine  $S_Q^{\leftarrow}$  rappresenta la entropia entrante attraverso i confini del sistema come conseguenza dello scambio di calore  $Q$  (primo assioma), mentre  $S_{\text{irr}}$  (sempre maggiore di zero, in base al terzo assioma) è il termine di generazione entropica per irreversibilità.

# Calcolo delle grandezze termodinamiche

Si può dimostrare che, in alcuni casi semplici, sia 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 ( $V$ )

# Il lavoro termodinamico

$$\delta l^{\rightarrow} = P \cdot dv$$





# Il lavoro termodinamico in un ciclo

