

POLITECNICO
MILANO 1863

Equazioni di bilancio per un sistema chiuso

Prof. Ing. Alberto Saloni

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*

Il principio di conservazione dell'energia

Primo principio della termodinamica

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

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

Sistemi chiusi

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

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:

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

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, ..., l'energia interna totale è:

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

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, chimica o elettrica) è chiamata **energia interna**.

Esperienza di Joule

Esperienza di Joule

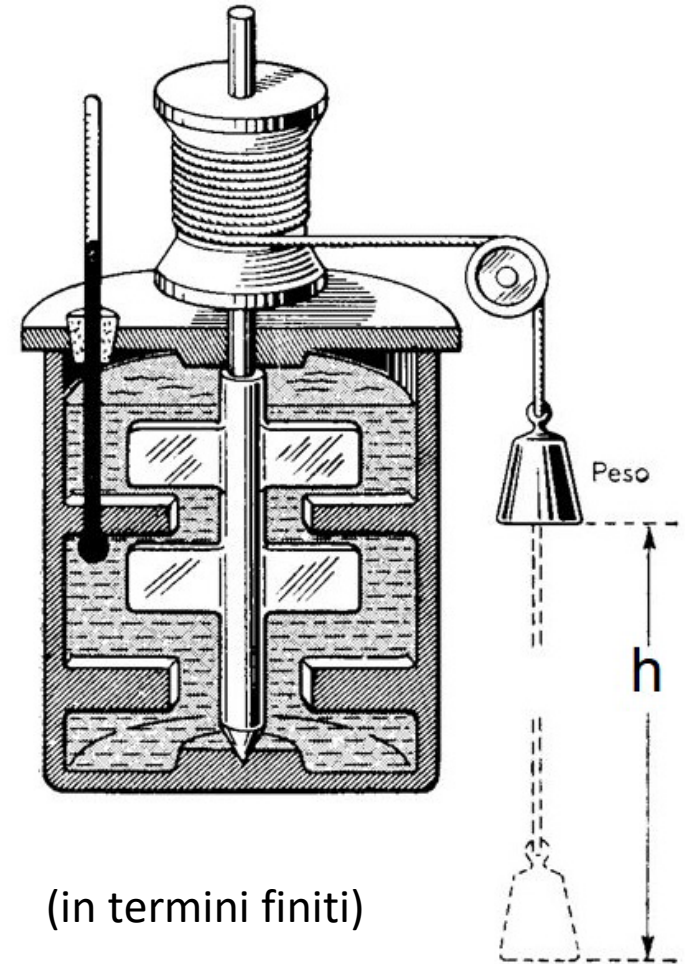
Per i sistemi conservativi:

$$\delta L = dE_k + dE_p$$

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 un'energia immagazzinata che viene chiamata **ENERGIA INTERNA**.

$$\delta L = dU \quad L = \Delta U$$



Conservazione dell'energia

Equivalente meccanico della caloria

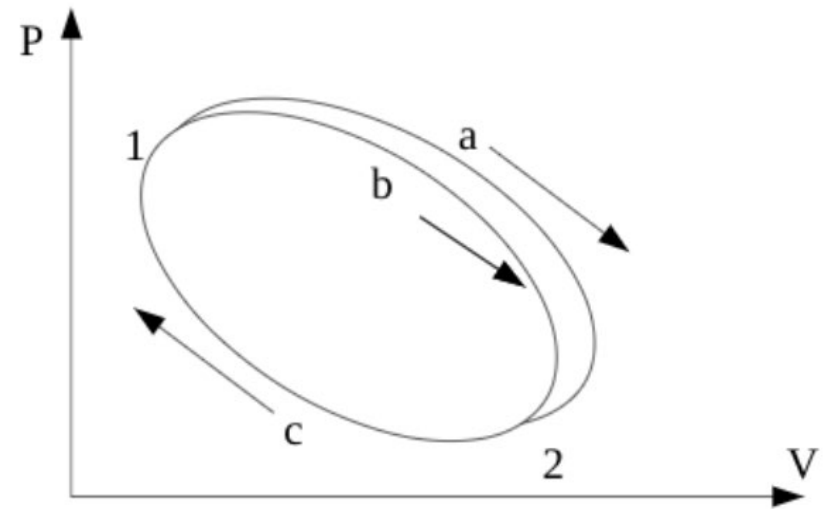
Joule osservò sperimentalmente che:

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

Per sottrazione:

$$Q_a - Q_b = L_a - L_b$$

$$Q_a - L_a = Q_b - L_b$$



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

Energia interna funzione di stato

Secondo principio della Termodinamica

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:

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

Bilancio Entropico

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, \dots , 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:

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


Entropia entrante attraverso i confini del sistema come conseguenza dello scambio di calore Q (*primo assioma*)

Termine di **generazione entropica per irreversibilità** (sempre maggiore di zero, in base al terzo assioma)

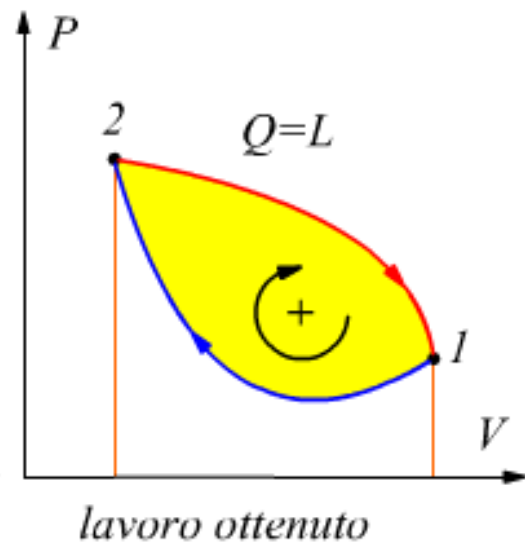
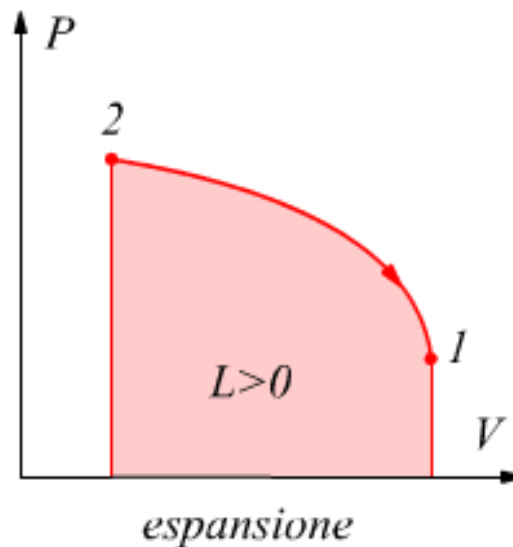
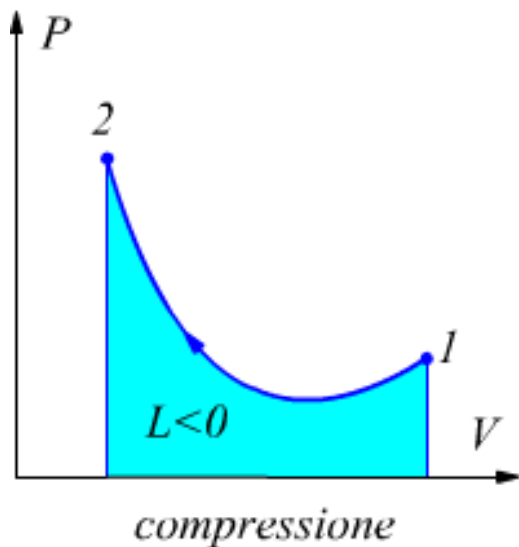
Calcolo delle grandezze termodinamiche

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 (ΔU , Q , L , ΔS) in funzione delle grandezze direttamente misurabili quali pressione (P), temperatura (T) e volume (V)

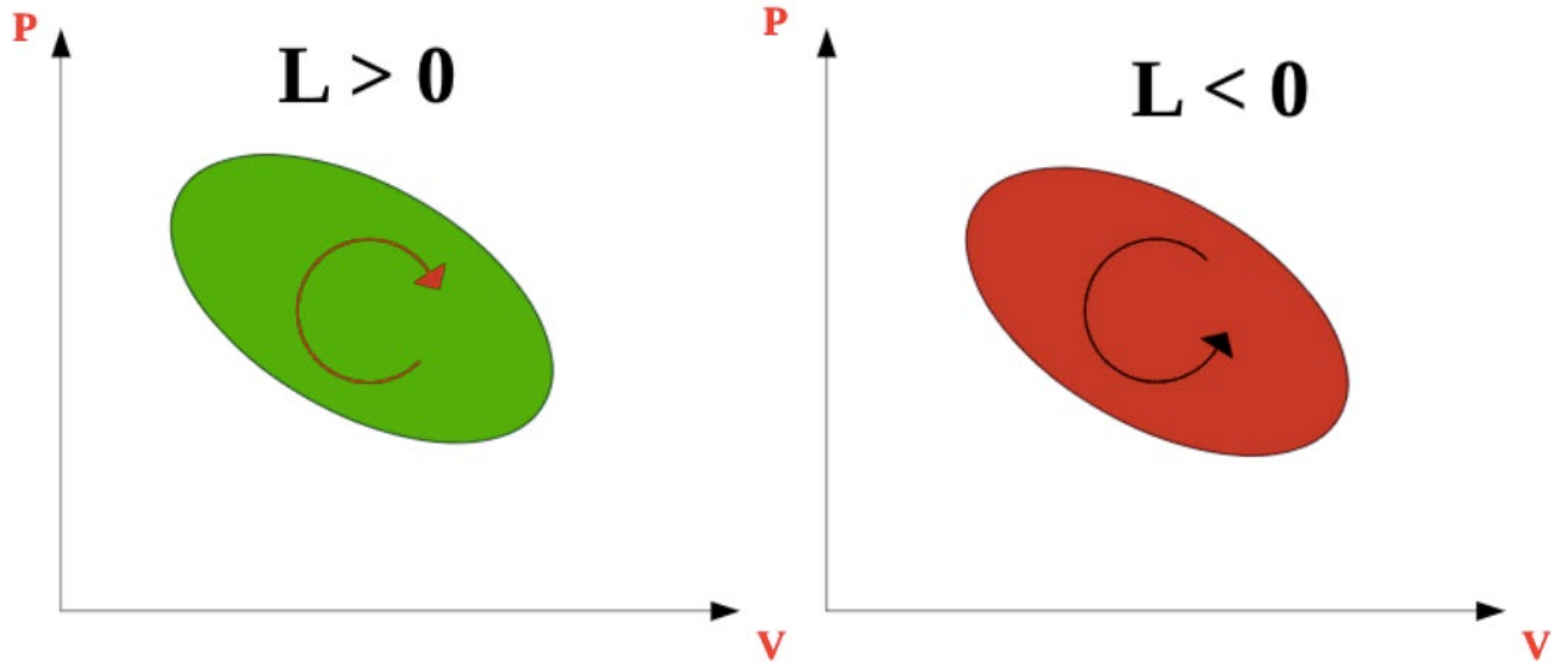
Lavoro Termodinamico

$$d\vec{L} = PdV$$

$$\vec{L} = \int_i^f PdV$$



Lavoro Termodinamico



Note per lo studente



Note per lo studente



Note per lo studente



Note per lo studente

