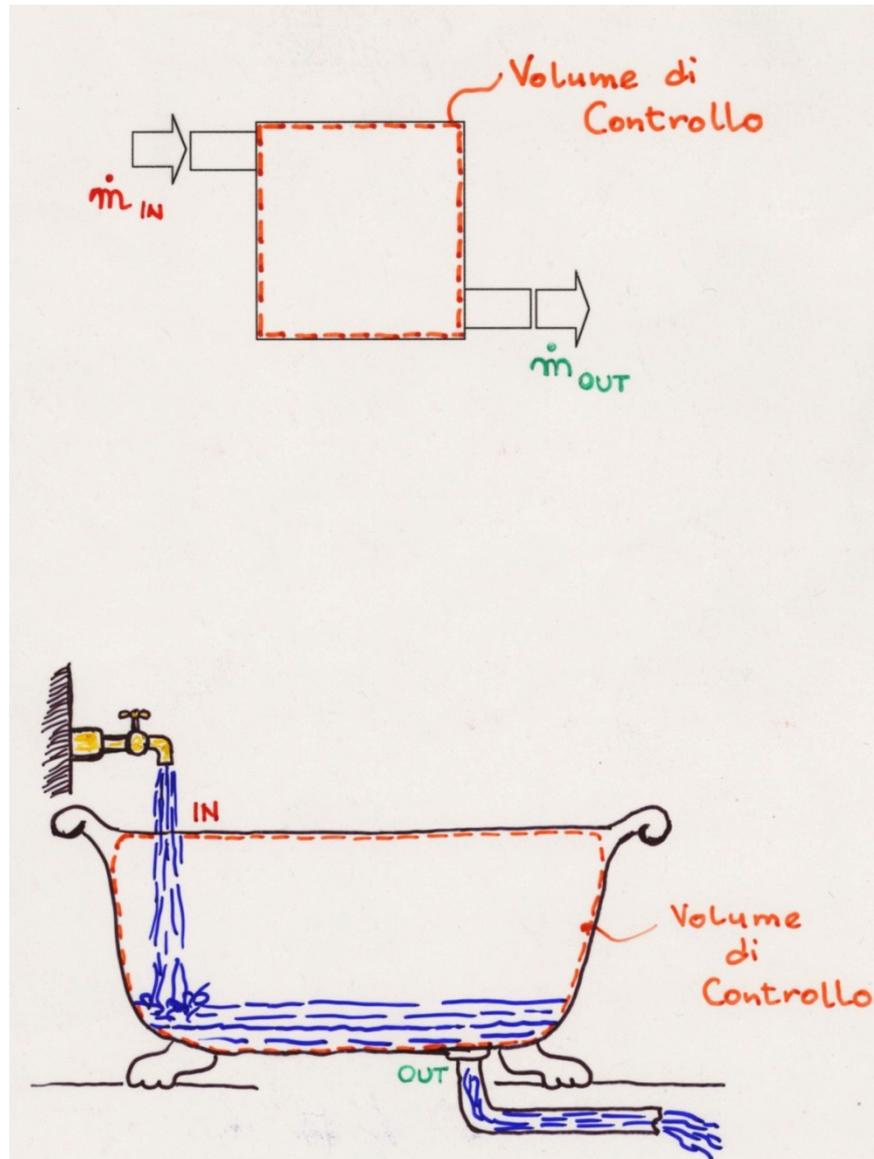
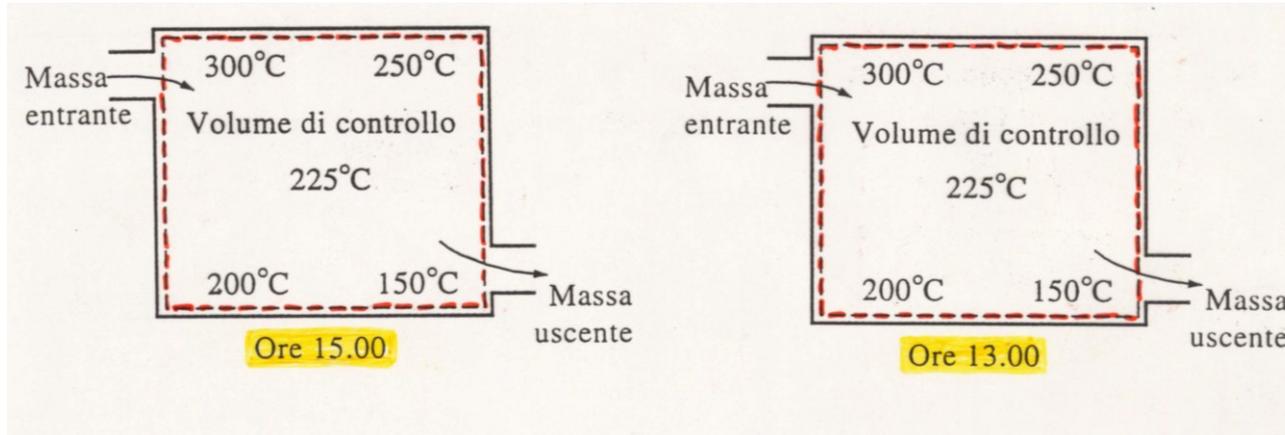


# I sistemi aperti e i volumi di controllo



# Sistemi che evolvono in regime stazionario



Si definisce **regime stazionario** quel modo di evolvere di un sistema per cui si verificano i seguenti comportamenti:

- nessuna proprietà all'interno del sistema varia nel tempo: volume  $V$ , massa  $m$ , pressione  $p$ , energia  $E$ , ...;
- nessuna proprietà al contorno del sistema varia: flussi di massa rimangono costanti e rimangono costanti le loro proprietà, temperatura  $t$ , entalpia  $h$ , ...;
- flussi di calore, flussi di lavoro tra sistema e ambiente restano costanti nel tempo.

# Principio di conservazione della massa

In tutti i fenomeni fisici la massa dei sistemi interessati si conserva.

Individuato un sistema, considerando la sua massa (con le possibili variazioni nel tempo) e le diverse portate che fluiscono attraverso il suo contorno, è possibile enunciare la seguente relazione che corrisponde al senso comune e nasce dall'effettuare un **bilancio di massa**:

$$\begin{pmatrix} \textit{portata totale} \\ \textit{di massa} \\ \textit{entrante} \\ \textit{nel volume} \\ \textit{di controllo} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \textit{portata totale} \\ \textit{di massa} \\ \textit{uscente} \\ \textit{nel volume} \\ \textit{di controllo} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \textit{variazione} \\ \textit{netta di massa} \\ \textit{nel volume} \\ \textit{di controllo} \\ \textit{nell'unità di tempo} \end{pmatrix}$$

In termini matematici tale relazione può essere formalizzata nella forma seguente:

$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_u = \frac{\Delta m_{vc}}{\Delta \tau}$$

la quale, passando a termini infinitesimi, ossia considerando intervalli di tempo “molto” piccoli si riscrive:

$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_u = \frac{dm_{vc}}{d\tau}$$

nel campo della **meccanica dei fluidi**  
questa equazione  
viene detta **equazione di continuità**

Quando un sistema sia interessato da trasformazioni che avvengono in regime stazionario **non si hanno variazioni nel tempo** e in particolare il termine di **accumulo si annulla**:

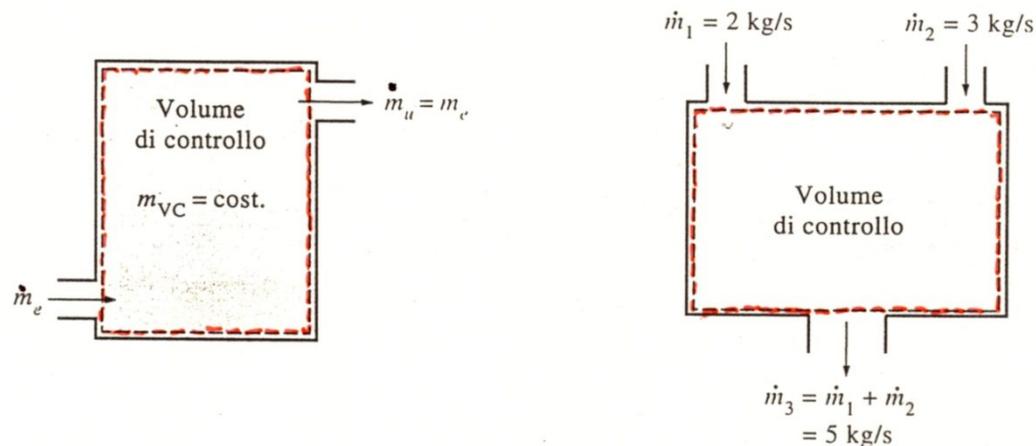
$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_u = 0$$

In altre parole il principio di conservazione della massa è espresso da:

$$\left( \begin{array}{c} \textit{portata di massa totale} \\ \textit{entrante} \\ \textit{nel volume di controllo} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \textit{portata di massa totale} \\ \textit{uscente} \\ \textit{dal volume di controllo} \end{array} \right)$$

$$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_u$$

Ad esempio:



# Ancora sui bilanci

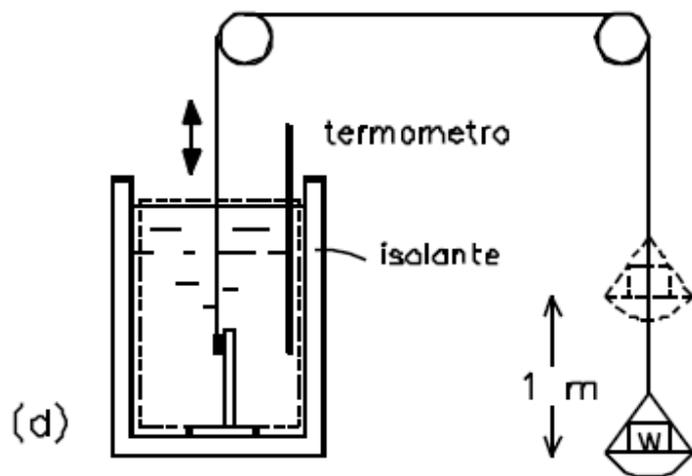
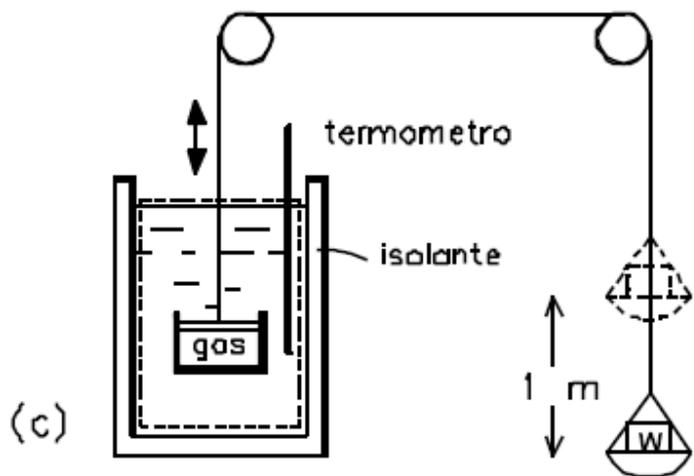
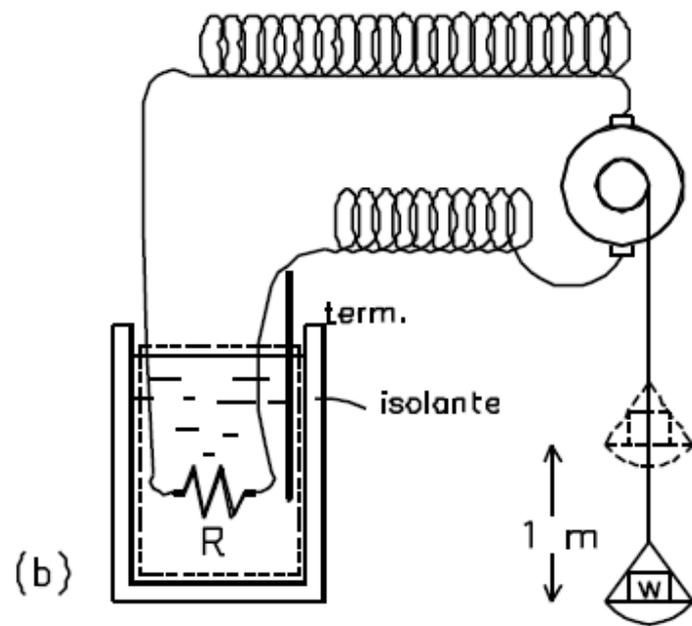
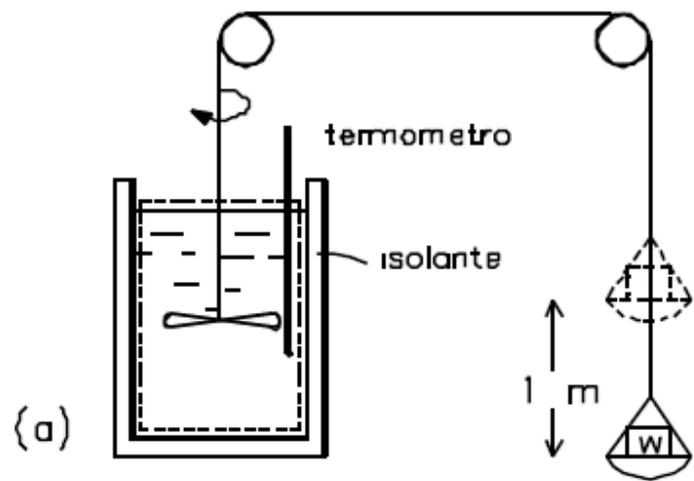
In termini generali per una certa **grandezza G** che si conserva individuato un sistema di interesse è possibile **impostare un bilancio**. Si può quindi scrivere:

$$\mathbf{a} \quad \left( \begin{array}{c} \textit{portata totale} \\ \textit{della grandezza G} \\ \textit{entrante} \\ \textit{nel volume} \\ \textit{di controllo} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \textit{portata totale} \\ \textit{della grandezza G} \\ \textit{uscente} \\ \textit{dal volume} \\ \textit{di controllo} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \textit{produzione totale} \\ \textit{della grandezza G} \\ \textit{nel volume} \\ \textit{di controllo} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \textit{consumo totale} \\ \textit{della grandezza G} \\ \textit{nel volume} \\ \textit{di controllo} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \textit{variazione netta} \\ \textit{per unità di tempo} \\ \textit{della grandezza G} \\ \textit{nel volume} \\ \textit{di controllo} \end{array} \right)$$

$$\mathbf{b} \quad \textit{Entrata} - \textit{Uscita} + \textit{Produzione} - \textit{Consumo} = \textit{Accumulo}$$

$$\mathbf{c} \quad \dot{G}_i - \dot{G}_u + \dot{P} - \dot{C} = \frac{dG}{dt}$$

# Gli esperimenti di Joule



# Primo principio: la conservazione dell'energia

Oltre alla conservazione della massa in natura si osserva anche la **conservazione dell'energia**.

Definito un sistema è necessario andare a individuare tutte i diversi scambi e variazioni di energia coinvolti nel fenomeno che si sta osservando.

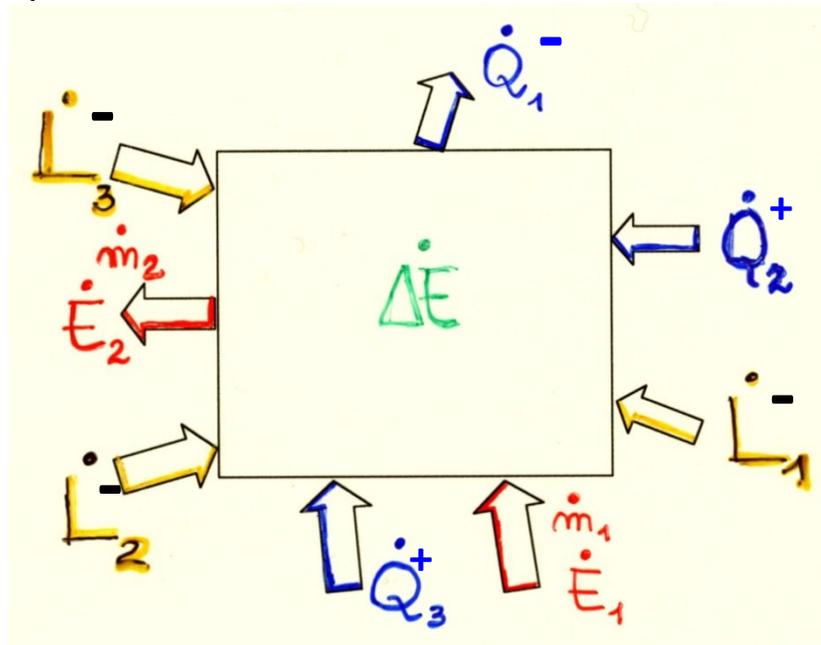
Un sistema può scambiare energia sotto forma di lavoro e calore con l'ambiente, ma anche un flusso di massa che attraversa il volume di controllo fa variare l'energia del sistema. Mettendo per bene in conto tutto ci si accorge che:

***l'energia non si crea, ne si distrugge ma solo si trasforma***

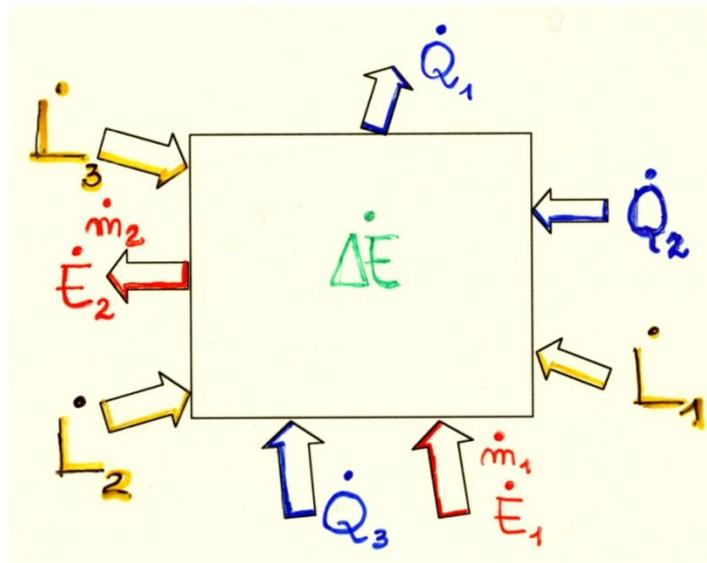
Questo è un **postulato** ovvero una proposizione che si chiede di ammettere come vera fintanto che non sarà dimostrato il contrario, in altre parole non esiste nessun processo in natura che lo violi.

# Bilancio di energia

Anche per l'energia è utile procedere con la tecnica dei bilanci. Riferendosi all'**unità di tempo**, e quindi alle portate di massa e alle potenze in ingresso o uscita per il sistema sotto schematizzato si può scrivere la relazione di bilancio.



$$\left( \begin{array}{l} \text{potenza totale} \\ \text{che attraversa} \\ \text{il contorno} \\ \text{come lavoro} \\ \text{e calore} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{l} \text{potenza totale} \\ \text{uscende} \\ \text{nel volume} \\ \text{di controllo} \\ \text{con la massa} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{l} \text{potenza totale} \\ \text{entrante} \\ \text{nel volume} \\ \text{di controllo} \\ \text{con la massa} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{var iazione} \\ \text{nettadi} \\ \text{energia} \\ \text{nel volume} \\ \text{di controllo} \end{array} \right)$$



$$\left( \begin{array}{l} \text{potenza totale} \\ \text{che attraversa} \\ \text{il contorno} \\ \text{come lavoro} \\ \text{e calore} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{l} \text{potenza totale} \\ \text{uscente} \\ \text{nel volume} \\ \text{di controllo} \\ \text{con la massa} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{l} \text{potenza totale} \\ \text{entrante} \\ \text{nel volume} \\ \text{di controllo} \\ \text{con la massa} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{var iazione} \\ \text{nettadi} \\ \text{energia} \\ \text{nel volume} \\ \text{di controllo} \end{array} \right)$$

$$\dot{Q} - \dot{L} + \sum \dot{E}_{e, \text{massa}} - \sum \dot{E}_{u, \text{massa}} = \frac{dE_{vc}}{d\tau}$$

$Q = \text{calore scambiato attraverso il contorno} = \sum Q_e - \sum Q_u$

$L = \text{lavoro scambiato in tutte le forme} = \sum L_u - \sum L_e$

Ricordando quanto visto intorno all'energia specifica di una portata di massa si può riscrivere la relazione:

$$\dot{Q} - \dot{L} - \sum \dot{m}_u e_u + \sum \dot{m}_e e_e = \frac{dE_{vc}}{d\tau}$$

in **regime stazionario** il principio di conservazione dell'energia è espresso da:

$$\dot{Q} - \dot{L} = \sum \dot{m}_u e_u - \sum \dot{m}_e e_e$$

$$\dot{Q} - \dot{L} = \sum \dot{m}_u \left( h_u + \frac{w_u^2}{2} + gz_u \right) - \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{w_e^2}{2} + gz_e \right)$$

se non si hanno variazioni di energia cinetica e potenziale:

$$\dot{Q} - \dot{L} = \sum \dot{m}_u h_u - \sum \dot{m}_e h_e$$

- **forma generale:**

$$\dot{Q} - \dot{L} - \sum \dot{m}_u \left( h_u + \frac{w_u^2}{2} + gz_u \right) + \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{w_e^2}{2} + gz_e \right) = \frac{\Delta E_{tot, sistema}}{\Delta \tau}$$

- **In regime stazionario:**

$$\dot{Q} - \dot{L} - \sum \dot{m}_u \left( h_u + \frac{w_u^2}{2} + gz_u \right) + \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{w_e^2}{2} + gz_e \right) = 0$$

- **se non si hanno variazioni di energia cinetica e potenziale:**

$$\dot{Q} - \dot{L} = \sum \dot{m}_u h_u - \sum \dot{m}_e h_e$$

- **per sistemi chiusi e trasformazioni aperte:**

$$\begin{aligned} Q - L &= \Delta E_{tot} = \Delta E_p + \Delta E_k + \Delta E_e + \Delta E_m + \Delta E_c + \Delta E_n \dots + \Delta U \\ &= \Delta E_p + \Delta E_k + \Delta U = mg(z_2 - z_1) + m \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + m(u_2 - u_1) \end{aligned}$$

- **se non si hanno variazioni di energia cinetica e potenziale:**

$$Q - L = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

- **per sistemi chiusi e trasformazioni cicliche:**

$$Q - L = 0$$

# ancora sul Primo Principio della Termodinamica

Dal principio generale di conservazione dell'energia si sono elaborati alcune versioni utili in campi circoscritti della fisica:

energia cinetica, energia potenziale gravitazionale



**conservazione dell'energia meccanica**

+ energia potenziale elettrica, energia potenziale magnetica, energia chimica, energia nucleare, ***energia interna***



**conservazione dell'energia totale**

+ *calore e lavoro*



**Primo Principio della Termodinamica**