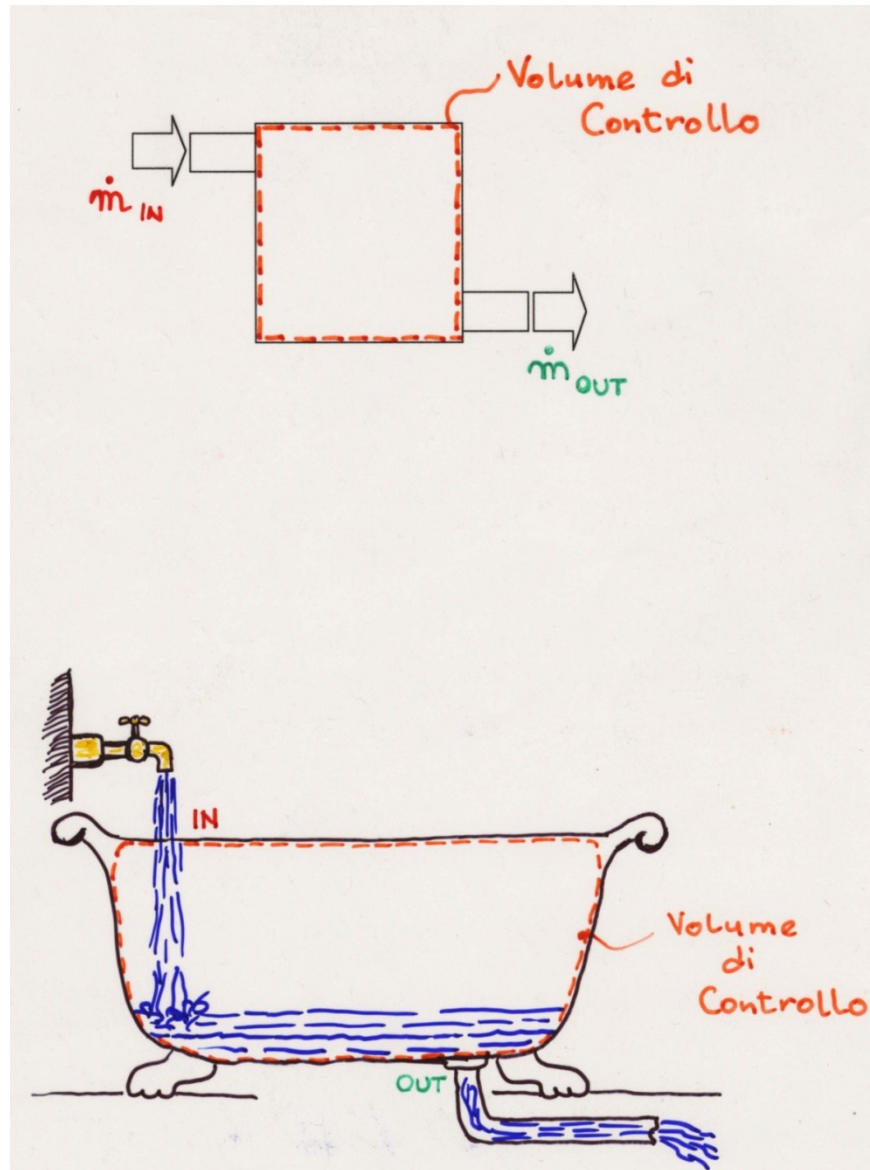
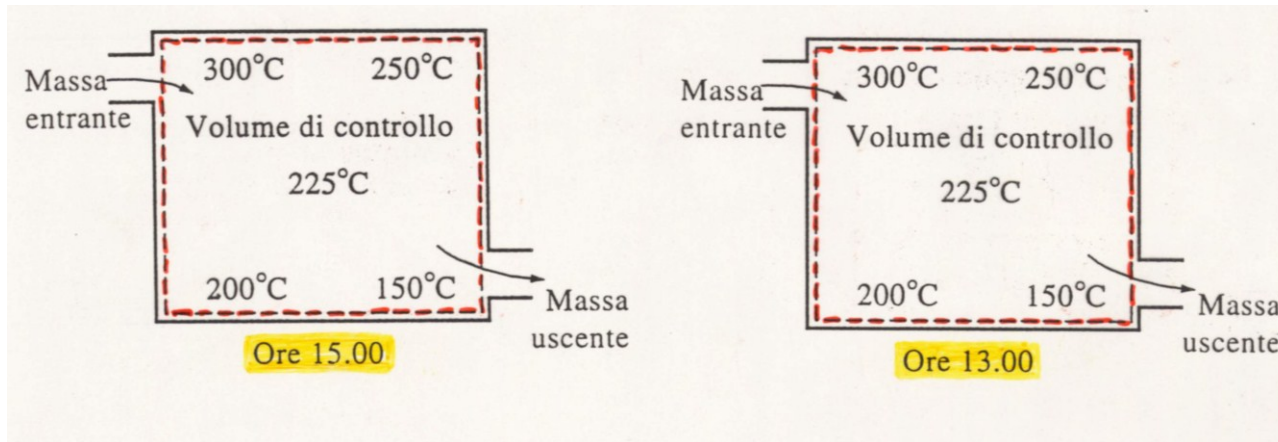


I sistemi aperti e i volumi di controllo



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**:

$$\left(\begin{array}{c} \textit{portata totale} \\ \textit{di massa} \\ \textit{entrante} \\ \textit{nel volume} \\ \textit{di controllo} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \textit{portata totale} \\ \textit{di massa} \\ \textit{uscente} \\ \textit{nel volume} \\ \textit{di controllo} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \textit{variazione} \\ \textit{netta di massa} \\ \textit{nel volume} \\ \textit{di controllo} \\ \textit{nell'unità di tempo} \end{array} \right)$$

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**:

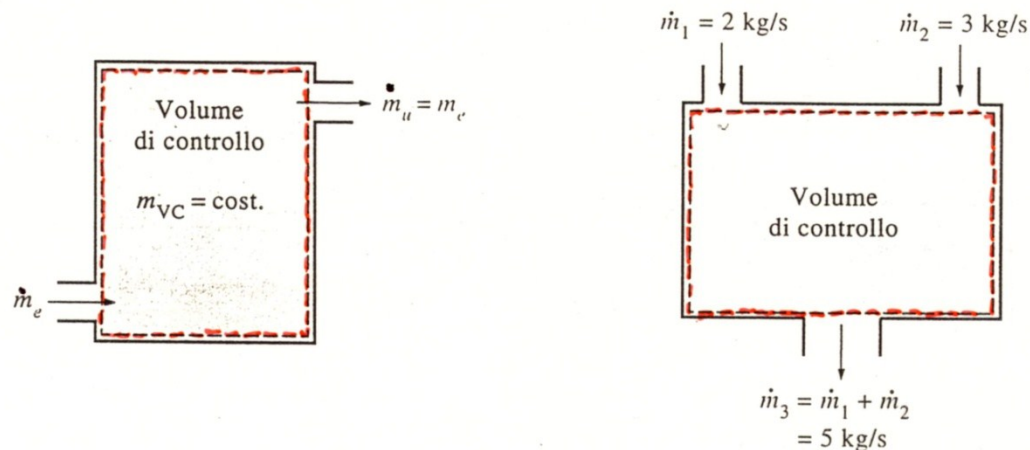
$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_u = 0$$

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

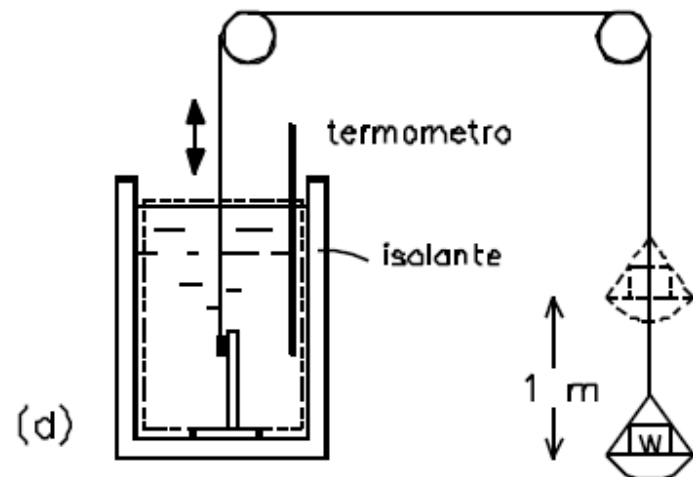
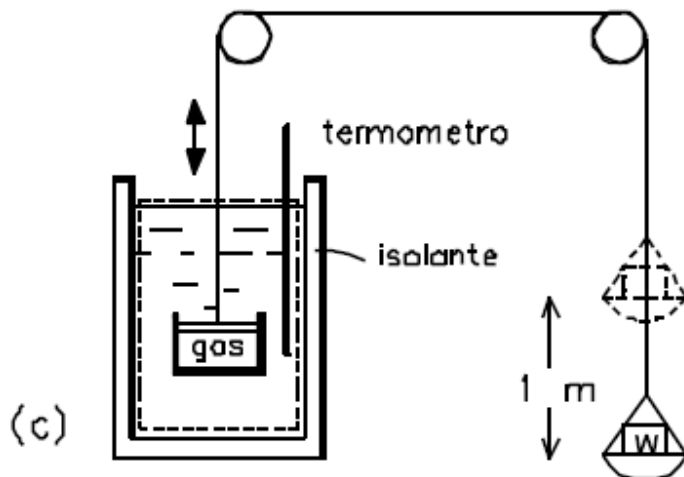
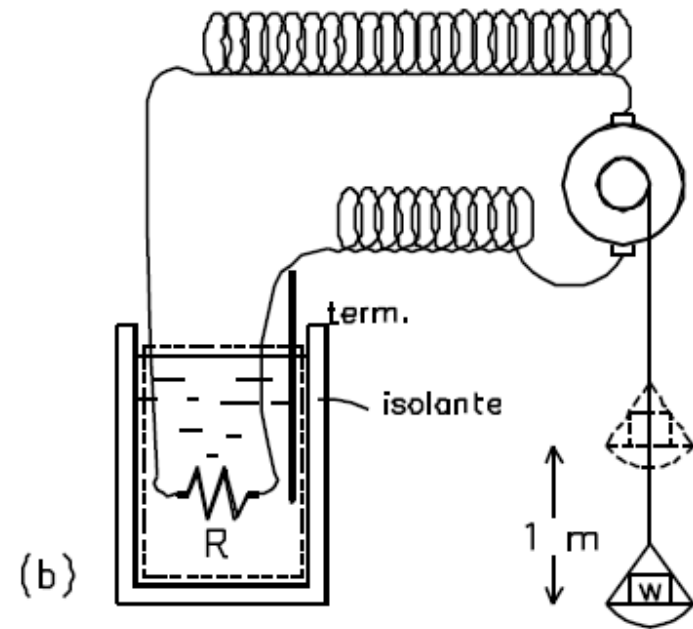
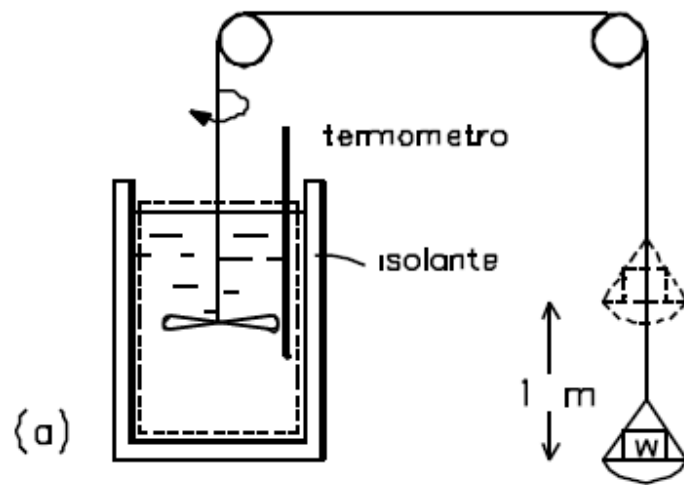
In termini generali per una certa **grandezza G** che si conserva individuato un sistema di interesse è possibile **impostare un bilancio**. Si può quindi scrivere:

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

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

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

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.

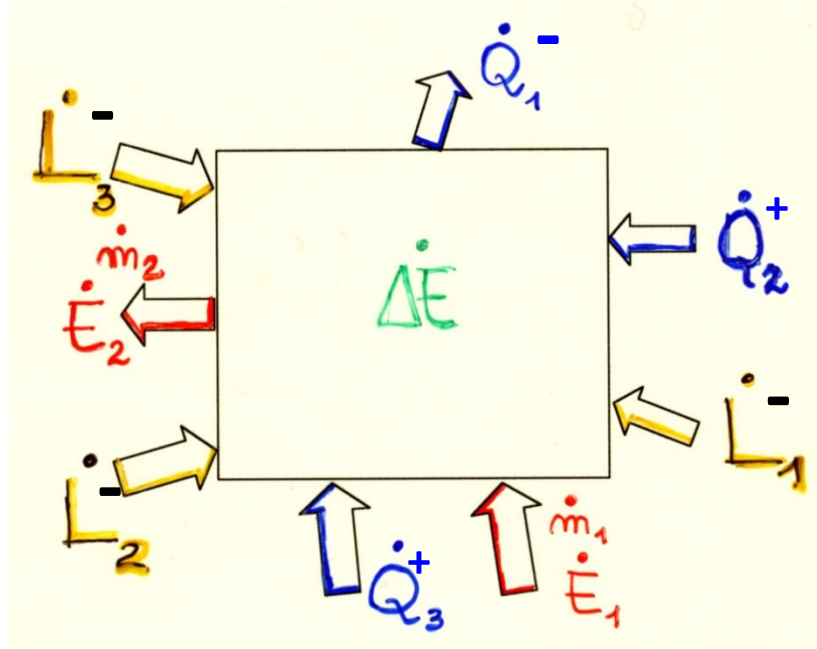
Un sistema può scambiare energia sotto forma di lavoro e calore con l'ambiente, ma anche un flusso di massa che attraversa il volume di controllo fa variare l'energia del sistema. Mettendo per bene in conto tutto ci si accorge che:

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

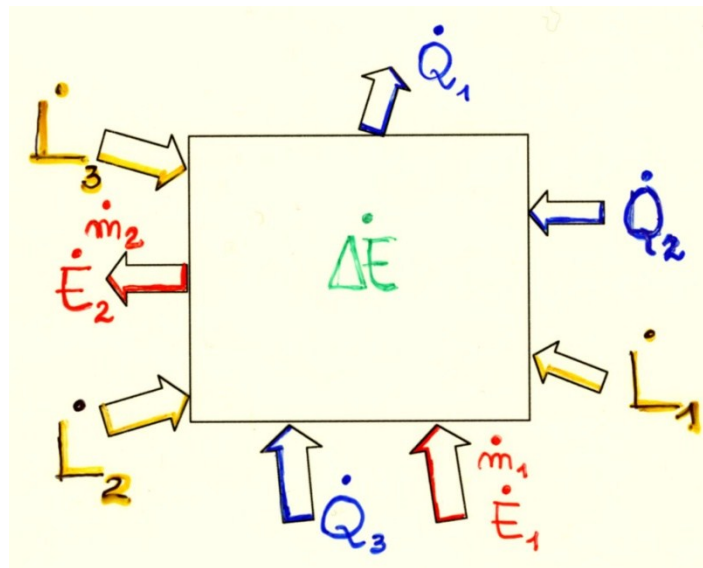
Questo è un **postulato** ovvero una proposizione che si chiede di ammettere come vera fintanto che non sarà dimostrato il contrario, in altre parole non esiste nessun processo in natura che lo violi.

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.



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



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

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

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

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

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