

Lezione n.3 (Corso di termodinamica)

Il Primo principio della termodinamica



Indice

- **Equazioni di bilancio**
- **Portata**
- **Bilancio di massa**
- **Energia**
- **Flussi di energia: calore e lavoro**
- **Lavoro d'elica e di variazione di volume**
- **Bilancio di energia per sistemi chiusi**
- **Primo principio della termodinamica per sistemi chiusi (convenzione del segno)**

Equazione di bilancio

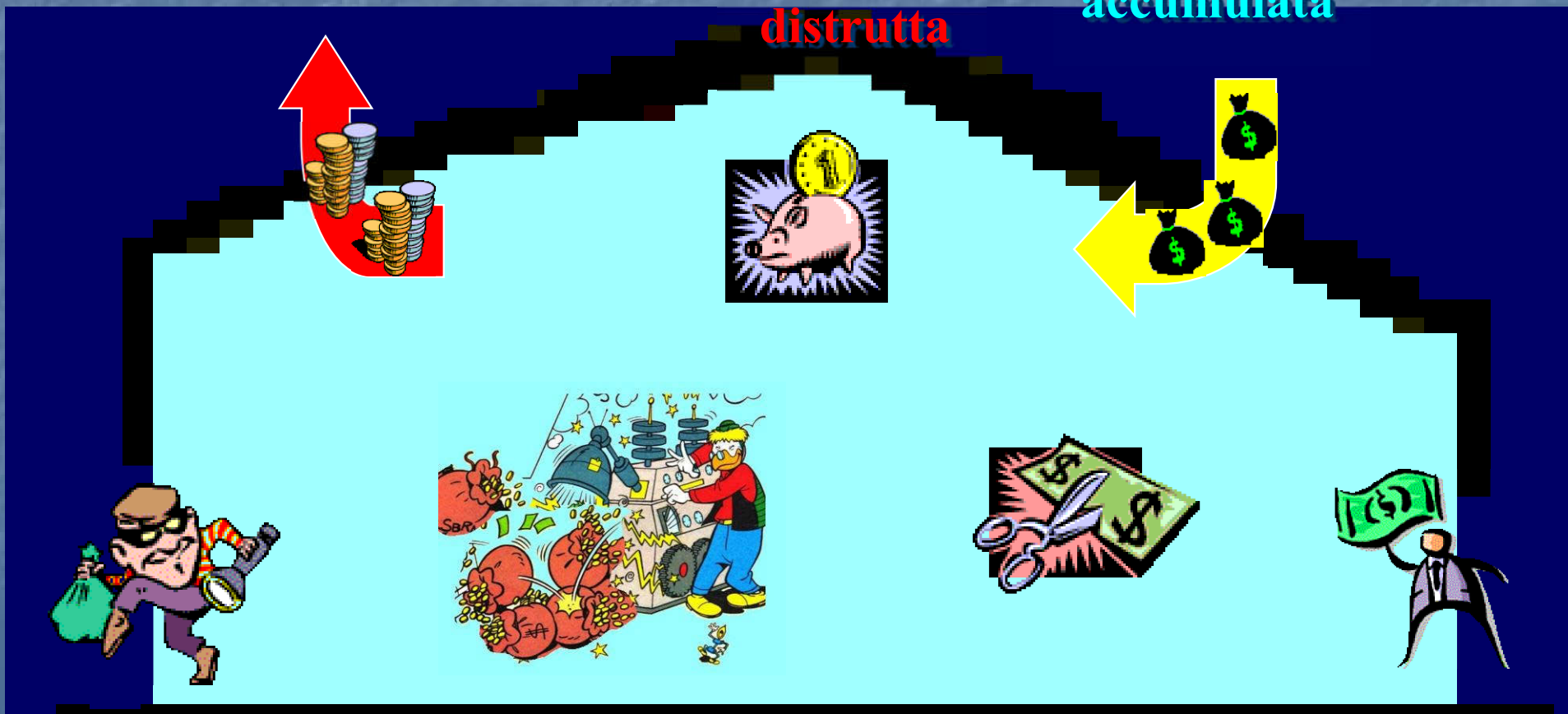
$$\Sigma \$ \text{ entrata} + \$ \text{ generata} =$$

$$\Sigma \$ \text{ uscita} + \$$$

$$+ \$$$

accumulata

distrutta





Equazione di bilancio

La quantità di G entrata

+

La quantità di G generata

=

La quantità di G distrutta

+

La quantità di G uscita

+

La quantità di G accumulata



Bilancio di una grandezza G

Regime stazionario \Rightarrow

La quantità di G accumulata = 0

La quantità di G entrata

+

La quantità di G generata

=

La quantità di G distrutta

+

La quantità di G uscita

Bilancio

Grandezza conservativa \Rightarrow

La quantità di G generata = 0

La quantità di G distrutta = 0

La quantità di G entrata

=

La quantità di G uscita



Massa

La massa è una grandezza conservativa

❖ **La massa non può essere generata**

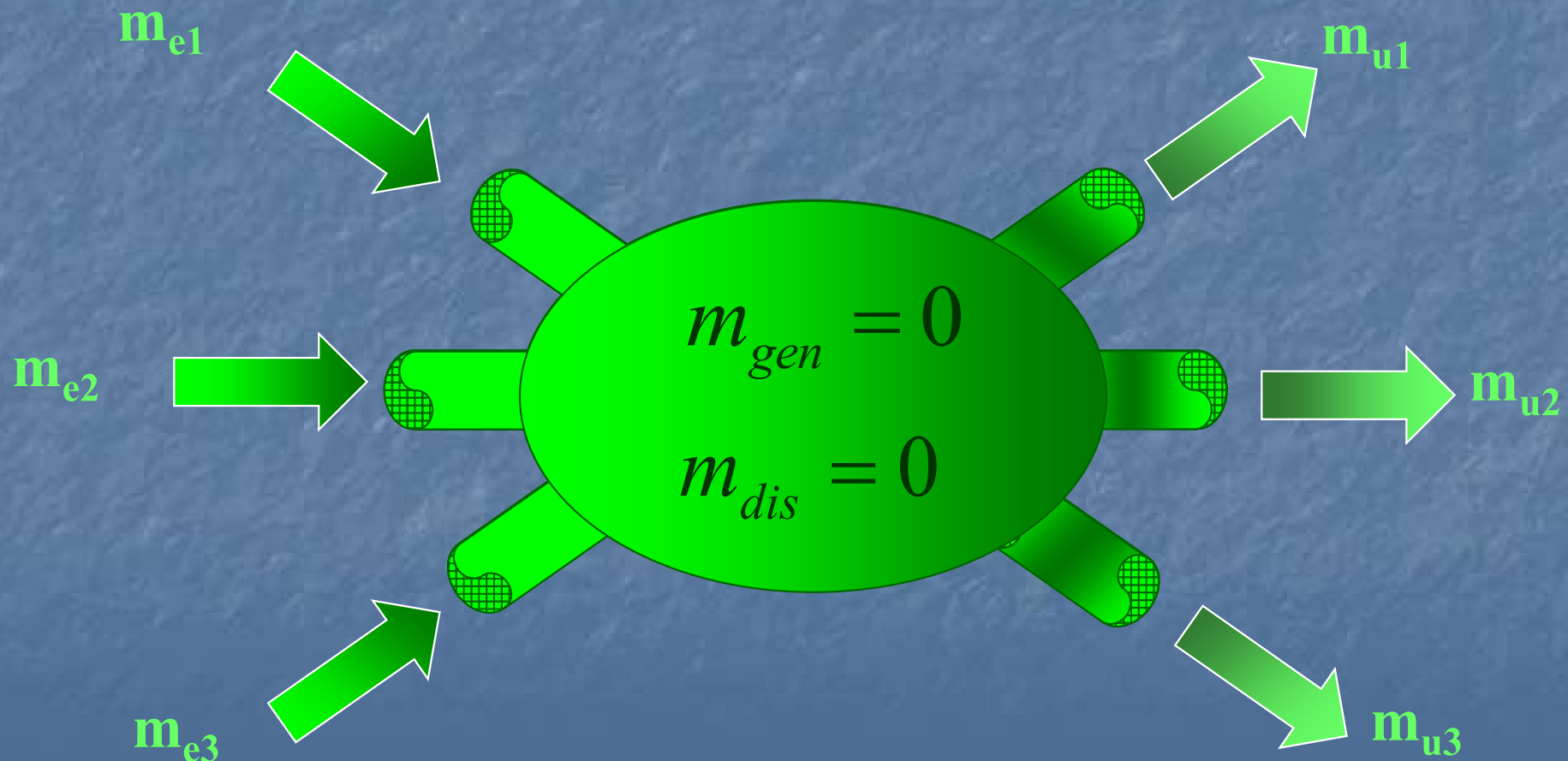
❖ **La massa non può essere distrutta**

$$m_{\text{gen}} = 0$$

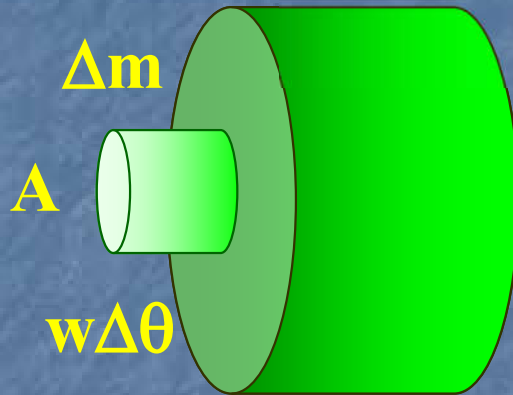
$$m_{\text{dis}} = 0$$

Bilancio di massa per SA

$$\sum m_e = \Delta m_{acc} + \sum m_u$$



Portata di un fluido



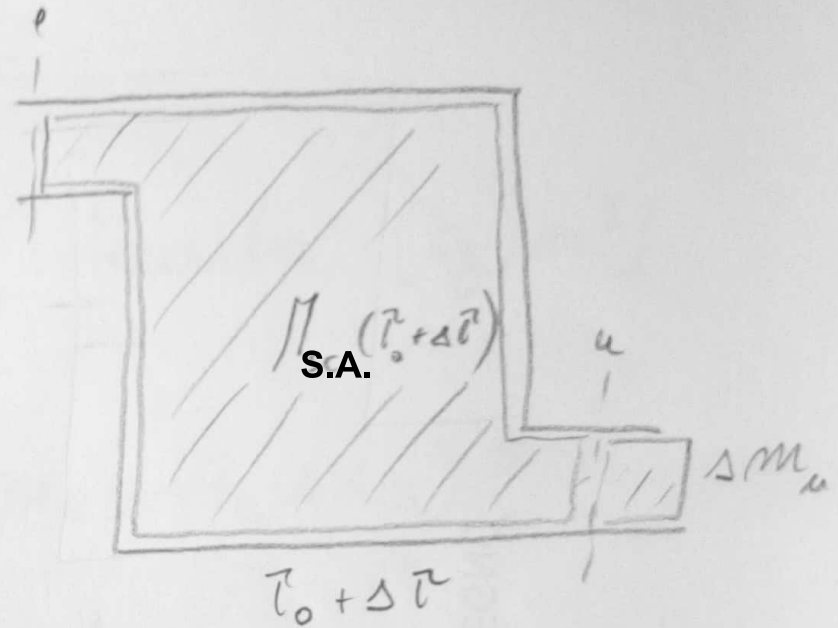
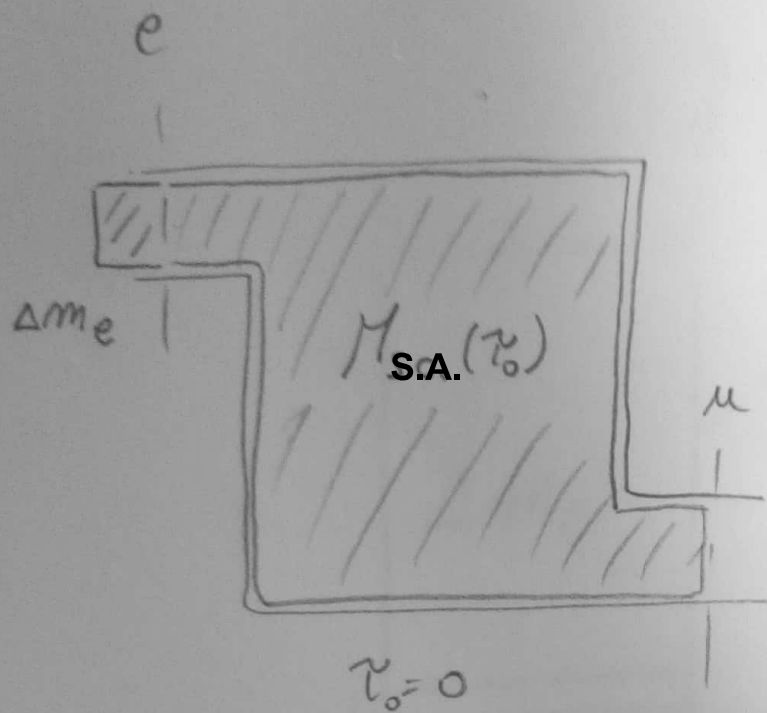
Portata massica

$$\Delta m = \rho A w \Delta \theta \quad [\text{kg}]$$

$$\dot{m} = \lim_{\Delta \theta \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta \theta} = \rho A w \quad [\text{kg/s}]$$

Portata volumetrica

$$\dot{V} = A w = \dot{m} / \rho \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$



$$\Delta M_{s.c.} = 0 \quad \nabla \Rightarrow \quad M_{S.A.}(r_0 + \Delta r) + \Delta m_u = M_{S.A.}(r_0) + \Delta m_e$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\Delta M_{S.A.}}{\Delta r} = \frac{\Delta m_e}{\Delta r} - \frac{\Delta m_u}{\Delta r}$$

portata di massa
netta entrante



ρ_e : densità $[\text{kg}/\text{m}^3]$

$$\Delta M_e = (A_e \Delta x_e) \rho_e$$

Portata di massa: massa transitata attraverso la superficie "e", di area A_e , nel tempo $\Delta \tau$:

$$\dot{m}_e \equiv \frac{\Delta M_e}{\Delta \tau} = \rho_e \frac{\Delta x_e}{\Delta \tau} A_e = \rho_e w_e A_e$$

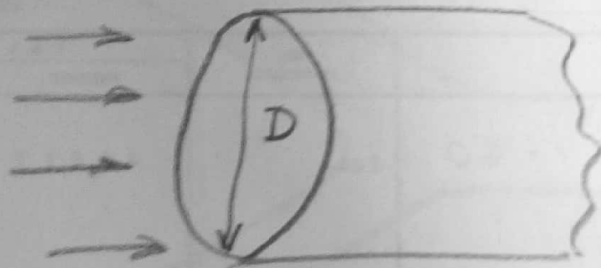
$w_e \equiv \frac{\Delta x_e}{\Delta \tau}$ velocità (media) del flusso.

Quindi, la formalizzazione del Principio di conservazione della massa per sistemi aperti è:

$$\frac{\Delta M_{S.A.}}{\Delta \tau} = \dot{M}_e - \dot{M}_u$$

Applicazioni

1)



$$w = 2 \text{ m/s}$$

$$D = 2^4$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m} = \rho w A = \rho w \frac{\pi D^2}{4}$$

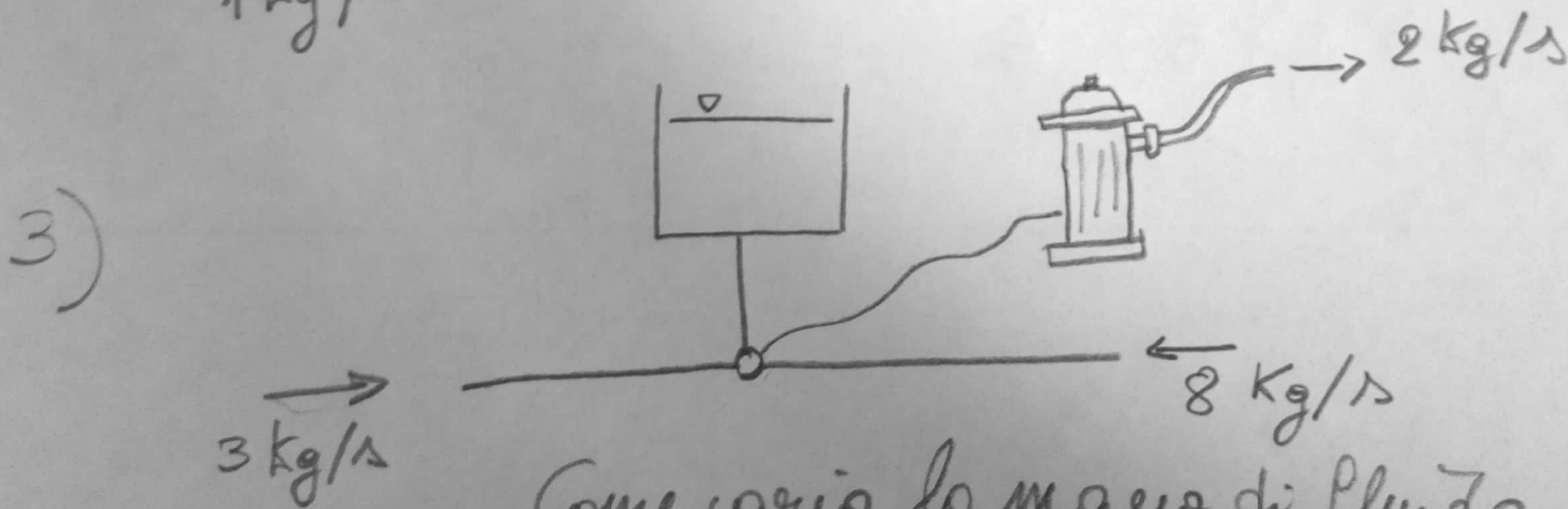
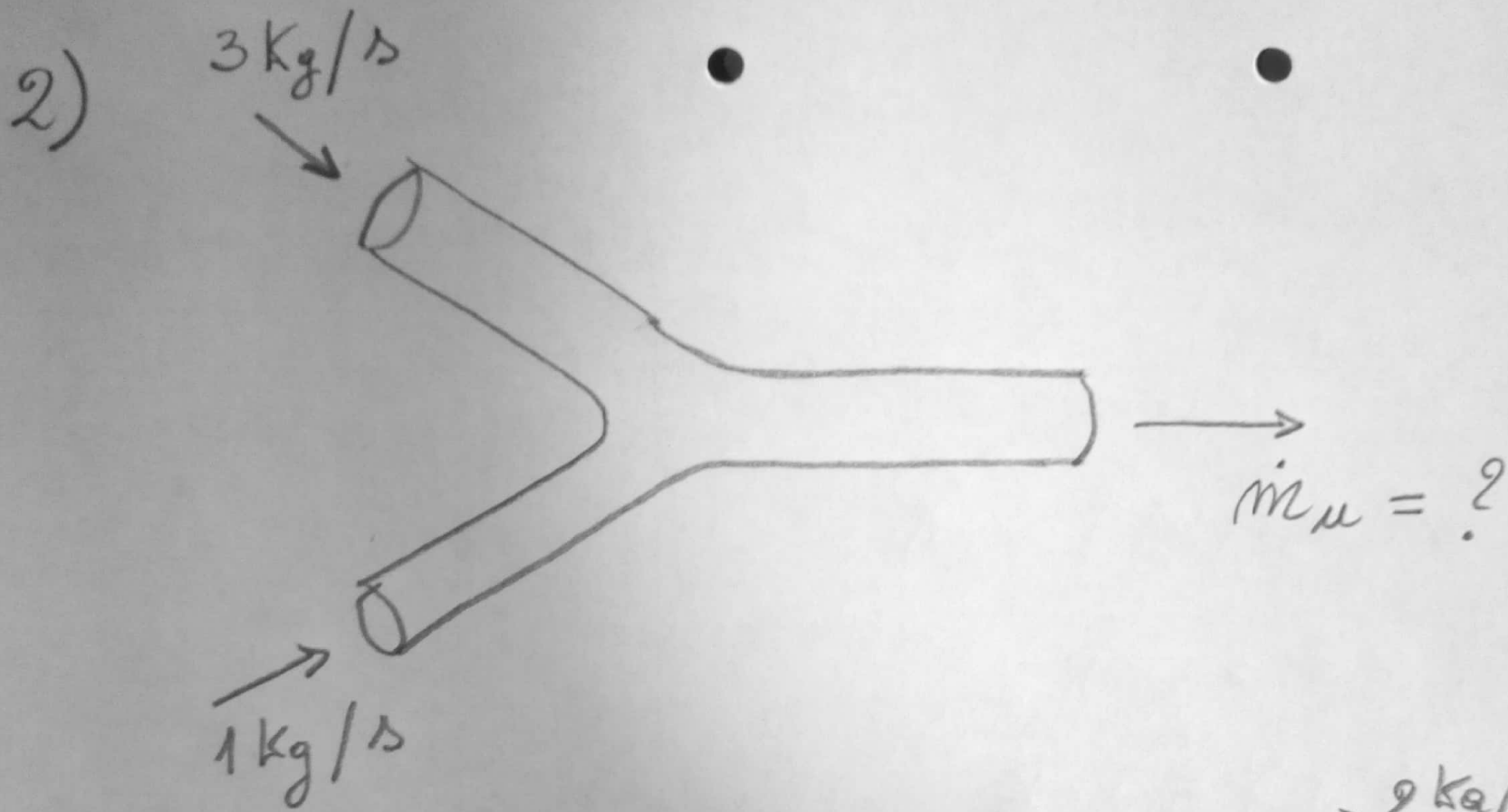
$$= 1000 \times 2 \times \pi \times (0,0254)^2 / 4$$

$$\approx 1,0 \text{ kg/s}$$

Portata volumetrica? In generale, $\dot{V} \equiv \text{m}^3/\text{s}$

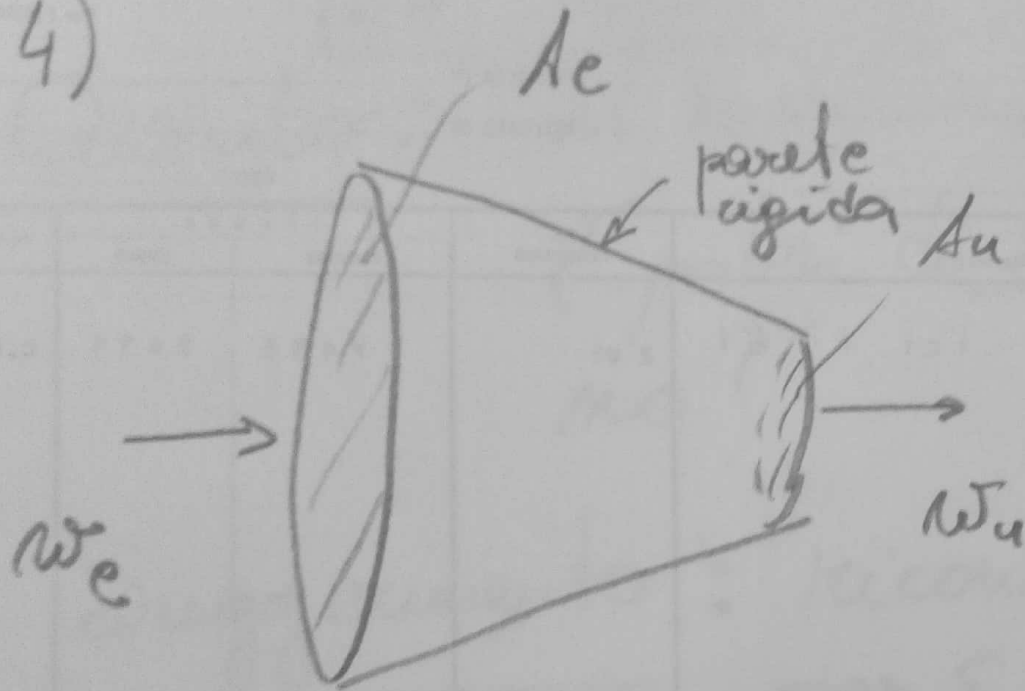
Per un fluido incompressibile ($\rho = \text{cost}$):

$$\dot{V} = \frac{\rho w A}{\rho} = w A$$



Come varia la massa di fluido contenuta nel serbatoio?

4)



$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ costante

$A_e = 3 \text{ cm}^2$

$A_u = 1 \text{ cm}^2$

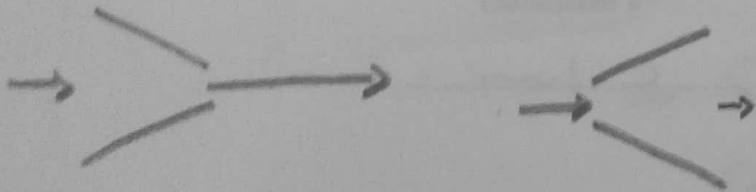
$w_e = 1 \text{ m/s}$

$w_u = ?$

$$\rho w_e A_e = \rho w_u A_u \Rightarrow w_u = w_e \frac{A_e}{A_u}$$

$$= 1 \text{ m/s} \times \frac{3 \text{ cm}^2}{1 \text{ cm}^2}$$

$$= 3 \text{ m/s}$$



DA FARE IN AUTONOMIA

Quesito: il risultato ottenuto richiede l'ipotesi di stazionarietà del fenomeno?

Suggerimento : riconsiderare il Pr. C. Navier per S.A. con il termine $\frac{\Delta \Pi_{SA}}{\Delta t}$.

$\Pi_{SA} = \int \rho V_{SA}$ per fluido incomprimibile. Abbiamo ipotizzato:

- S.A. indeformabile (parete rigida)
- $\rho = \text{cost.}$

Quindi?

Energia

- Definizione:
 - Capacità di un sistema di compiere lavoro
- Forme di energia
 - Energia meccanica (cinetica e potenziale)
 - Energia chimica e nucleare
 - Energia elettrica
 - Energia interna
 - ...
 - Energia eolica, solare, rinnovabile, ...

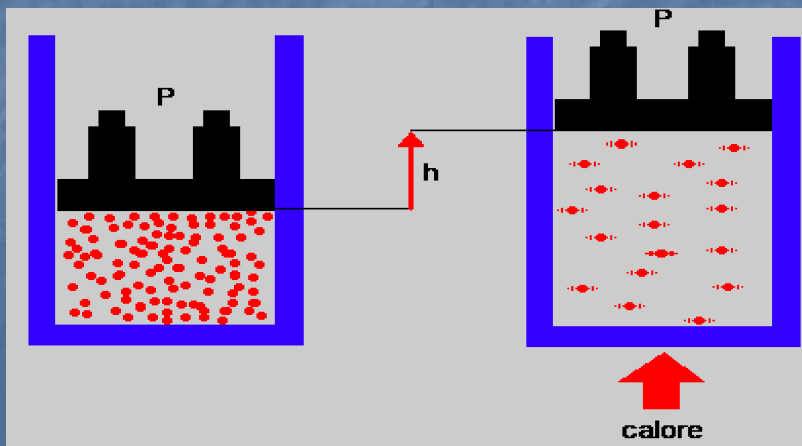
$$E_t = U + E_c + E_p + E_{ele} + \dots$$

Energia interna

- L'energia interna di un sistema è la somma di tutte le forme microscopiche di energia
 - energia sensibile: cinetica traslazionale, di rotazione e di vibrazione,
 - energia latente: legata alle forze intermolecolari

Trasformazioni di energia

- Trasformazioni dell'energia
 - Energia chimica \rightarrow Energia termica
 - Energia meccanica \rightarrow Energia elettrica
 - Energia termica \rightarrow Energia meccanica
 - ...



Proprietà dell'energia (postulato dell'energia)

L'energia è una proprietà termodinamica estensiva (che gode della proprietà additiva) e conservativa

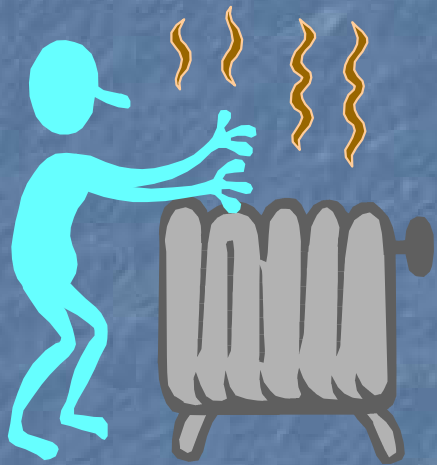
- ❖ L'energia non può essere generata
- ❖ L'energia non può essere distrutta

$$E_{\text{gen}} = 0$$

$$E_{\text{dis}} = 0$$

Flusso di energia: Modo Calore

calore



Energia trasferita tra due sistemi a causa di una differenza di temperatura

(DEFINIZIONE CALORIMETRICA DEL CALORE)

$$Q \quad [\text{J}]$$

$$\dot{Q} = \lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{Q}{\Delta\theta} \quad [\text{W}]$$

Flusso di energia: Modo Lavoro

lavoro

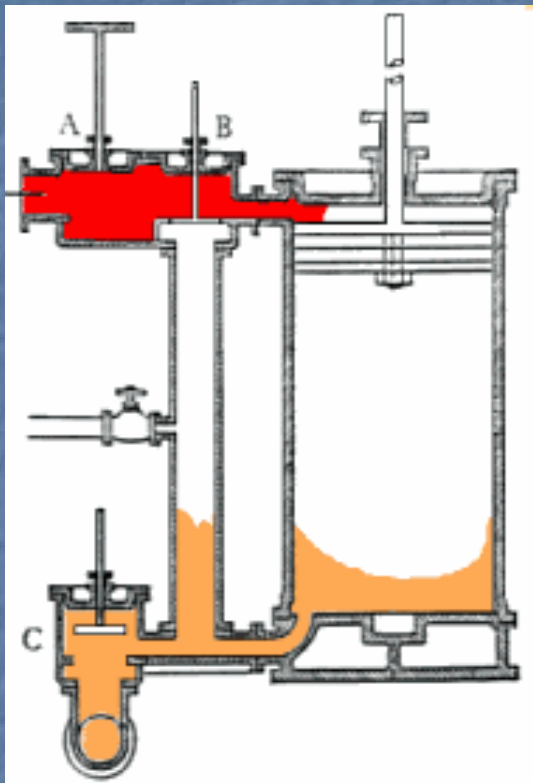


Energia trasferita tra due sistemi per una causa non riconducibile ad una differenza di temperatura

$$L \quad [J]$$

$$\dot{L} = \lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{L}{\Delta\theta} \quad [W]$$

Lavoro di variazione di volume

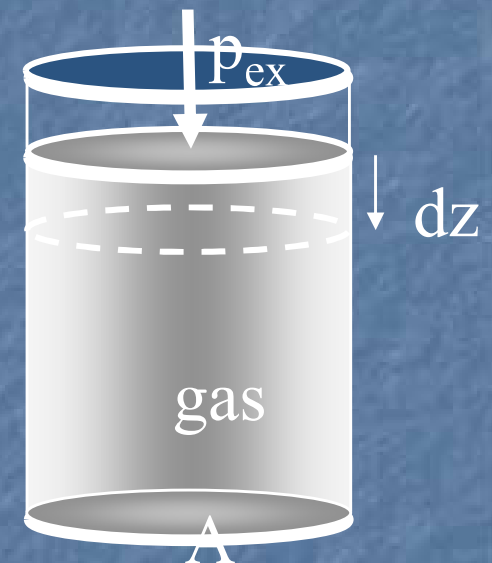


Lavoro che l'ambiente compie su un sistema chiuso (o viceversa) per spostare una sua parete

$$L_p = \text{forza} \cdot \text{spostamento}$$

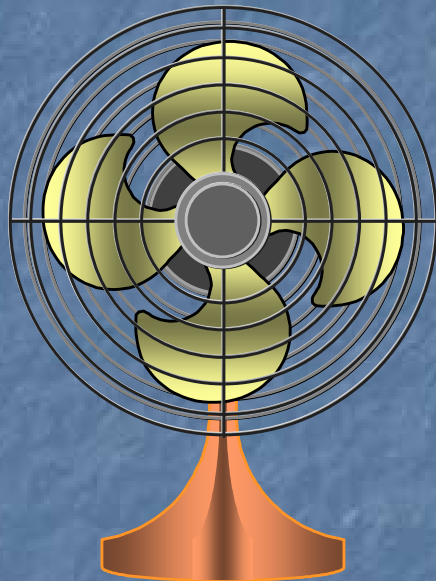
$$= pA \cdot \Delta x$$

$$= p \Delta V \text{ [J]}$$



Lavoro d'elica

(OPPURE "LAVORO TECNICO UTILE")



Una girante calettata ad un albero posto in rotazione da un motore elettrico trasferisce energia in modo lavoro al fluido ventilatore, pompa

(MACCHINE OPERATRICI, $L_t < 0$)

Una girante posta in rotazione dal fluido in moto trasferisce energia in modo lavoro all'albero cui è calettata turbina idraulica

(MACCHINE MPOTRICI, $L_t > 0$)

Bilancio di energia per sistemi chiusi

$$\sum |L_i| + \sum |Q_i| = \sum |L_u| + \sum |Q_u| + \Delta E$$

avendo indicato con:

$|L_i|$ energia entrante in modo lavoro

$|Q_i|$ energia entrante in modo calore

$|L_u|$ energia uscente in modo lavoro

$|Q_u|$ energia uscente in modo calore

Primo principio per sistemi chiusi

indicando:

$$L = \sum |L_u| - \sum |L_i| \quad (\text{lavoro netto uscente})$$

$$Q = \sum |Q_i| - \sum |Q_u| \quad (\text{calore netto entrante})$$

e ponendo:

$$\Delta \left(\frac{w^2}{2} \right) \cong 0; \quad g \Delta z \cong 0$$

e quindi:

$$\Delta E = \Delta U$$

$$\mathbf{Q - L = \Delta U}$$



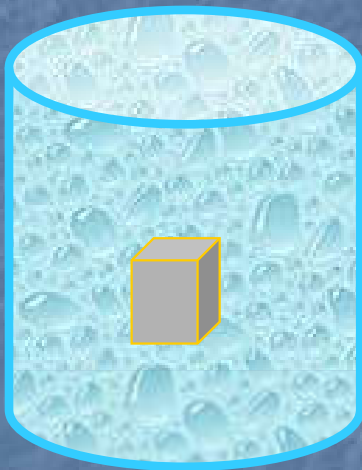
Primo principio per sistemi chiusi (forma differenziale)

$$dU = \delta Q - \delta L$$

$$du = \delta q - \delta l$$

Esercizio

Un provino di ferro da 5 kg alla temperatura di 120 °C è posto in un recipiente termicamente isolato contenente 50 dm³ di acqua a 20 °C. Quale sarà la temperatura all'equilibrio?



$$\Delta U_{\text{ferro}} + \Delta U_{\text{acqua}} = 0$$

$$[mc(T_f - T_i)]_{\text{ferro}} + [mc(T_f - T_i)]_{\text{acqua}} = 0$$

$$5 \cdot 0,45 (T_f - 120) + 50 \cdot 4,2 (T_f - 20) = 0$$

$$T_f = \frac{5 \cdot 0,45 \cdot 120 + 50 \cdot 4,2 \cdot 20}{5 \cdot 0,45 + 4,2 \cdot 20} = \underline{\underline{52 \text{ °C}}}$$

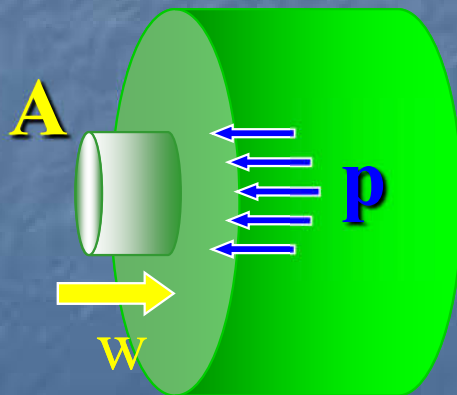
ATTENZIONE!! C'E' UNA
PICCOLA IMPRECISIONE....
CHE FINE HA FATTO IL
LAVORO DI VOLUME?
PERCHE' E' STATO
TRASCURATO?

Flussi di energia

Lavoro di pulsione



Lavoro che il fluido in moto compie per entrare o uscire dal volume di controllo

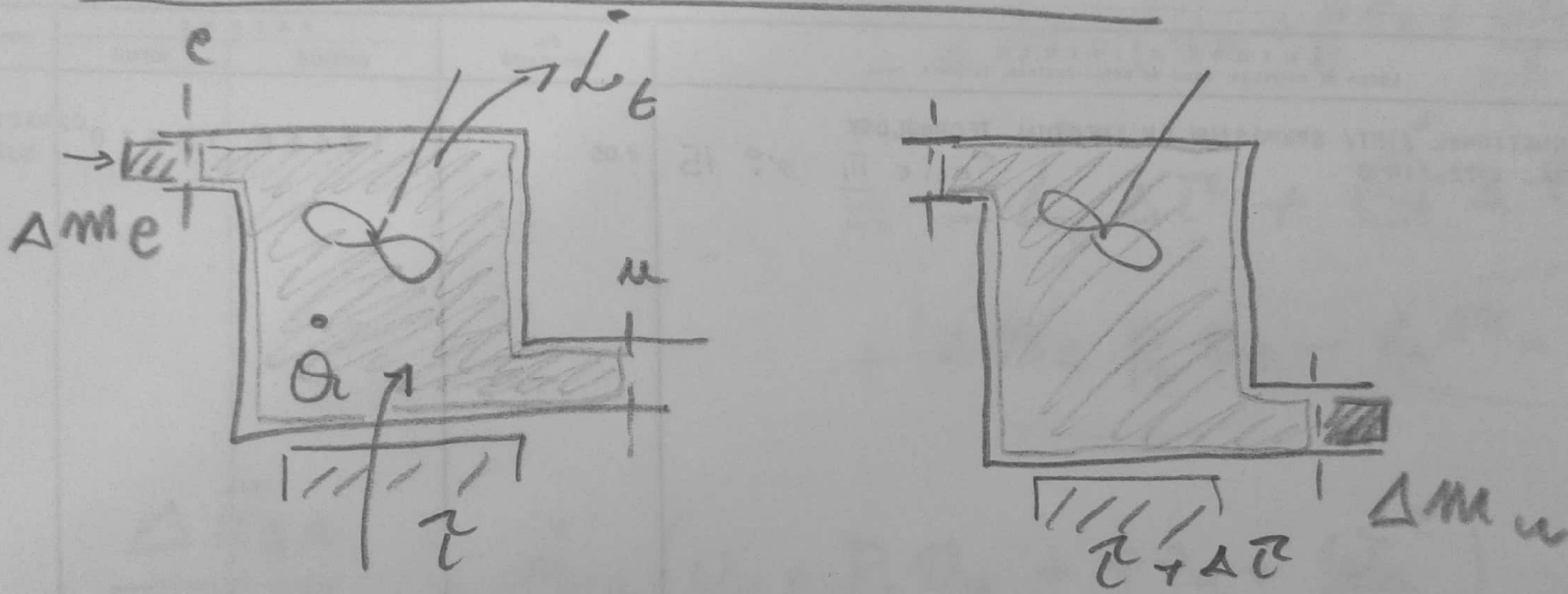


$$\begin{aligned}
 L_p &= \text{forza} \cdot \text{spostamento} \\
 &= pA \cdot w \Delta \theta \\
 &= \Delta m \quad p v \quad [\text{J}]
 \end{aligned}$$

$$\dot{L}_p = \dot{m} \quad p v \quad [\text{W}]$$

(DI SOLITO NON E' QUESTO IL LAVORO CHE CI INTERESSA...)

Primo Principio S.A.



$$E_{s.c.}(z_e + \Delta z) - E_{s.c.}(z_e) = -\dot{Q} \Delta t + \Delta m_e v_e - \Delta m_u v_u + Q \Delta t$$

$$E_{s.c.}(z_e) = E_{s.A.}(z_e) + \Delta m_e \left(u_e + g z_e + \frac{v_e^2}{2} \right)$$

$$E_{s.c.}(z_e + \Delta z) = E_{s.A.}(z_e + \Delta z) + \Delta m_u \left(u_u + g z_u + \frac{v_u^2}{2} \right)$$

$$(E_{SA}(T+\Delta T) - E_{SA}(T)) + \Delta M_u \left(u_u + g z_u + \frac{w_u^2}{2} \right) - \Delta M_e \left(u_e + g z_e + \frac{w_e^2}{2} \right)$$

$$= -\dot{L}_t \Delta T + \dot{Q} \Delta T$$

$$+ \Delta M_e p_e v_e - \Delta M_u p_u v_u$$

$$\frac{\Delta E_{SA}}{\Delta T} + \dot{m}_u \left(\underbrace{u_u + p_u v_u}_{h_u} + g z_u + \frac{w_u^2}{2} \right)$$

$$- \dot{m}_e \left(\underbrace{u_e + p_e v_e}_{h_e} + g z_e + \frac{w_e^2}{2} \right) = -\dot{L}_t + \dot{Q}$$

$h \equiv u + p v$ enthalpy (specific)

$$\frac{\Delta E_{SA}}{\Delta \tau} + \dot{m}_u \underbrace{\left(h_u + gz_u + \frac{w_u^2}{2} \right)}_{h_{tu}} - \dot{m}_e \underbrace{\left(h_e + gz_e + \frac{w_e^2}{2} \right)}_{h_{te}} = -\dot{L}_t + \dot{Q}$$

$$h_t \equiv h + gz + \frac{w^2}{2} \quad \text{entalpia totale}$$

$$\frac{\Delta E_{SA}}{\Delta \tau} + \underbrace{\dot{m}_u h_{tu} - \dot{m}_e h_{te}}_{\text{flusso convettivo di energia}} = \underbrace{-\dot{L}_t + \dot{Q}}_{\text{flussi di energia associati a:}}$$

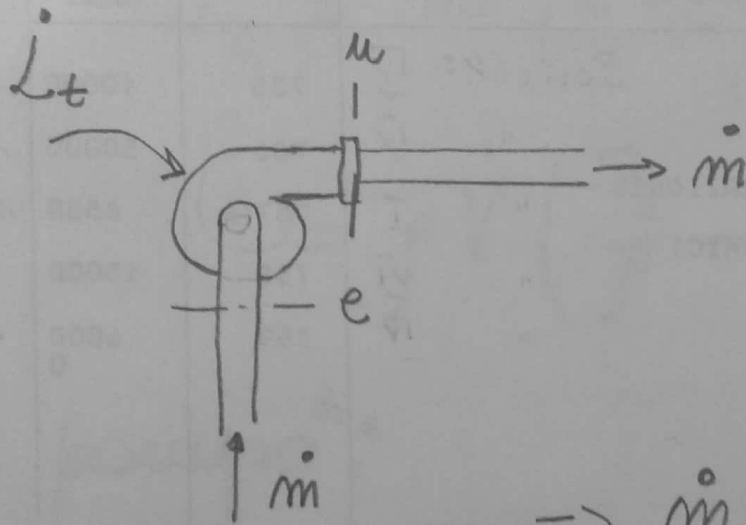
↑
energia accumulata

di energia

- spostamento superf. di contorno
- trasferimento energia e livello molecolare.

Applicazioni

1) bricolatore circuito riscaldamento.



$$1) \frac{\partial}{\partial t} = 0$$

$$2) \dot{\omega} = 0$$

$$3) w_u \approx w_e \quad (se A_u \approx A_e)$$

$$4) \rho(z_u - z_e) \text{ trascurabile}$$

$$\Rightarrow \dot{m}(h_u - h_e) = - \dot{L}_t$$

Per un liquido si ha:

$$h = c_e t + \text{cost.}$$

colore specifico per il liquido

$$m_u - m_e = C_e (t_u - t_e) \quad \underline{\text{che trascuriamo in prima appz.}}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow -\dot{L}_t &\cong \dot{m} (P_u v_u - P_e v_e) \\ &= \rho \dot{V} \left(\frac{P_u}{\rho} - \frac{P_e}{\rho} \right) = \dot{V} (P_u - P_e) \quad \nabla \end{aligned}$$

Per una pompa:

$$-\dot{L}_t \cong \dot{V} \Delta p$$

La potenza assorbita dalla pompa deve bilanciare:

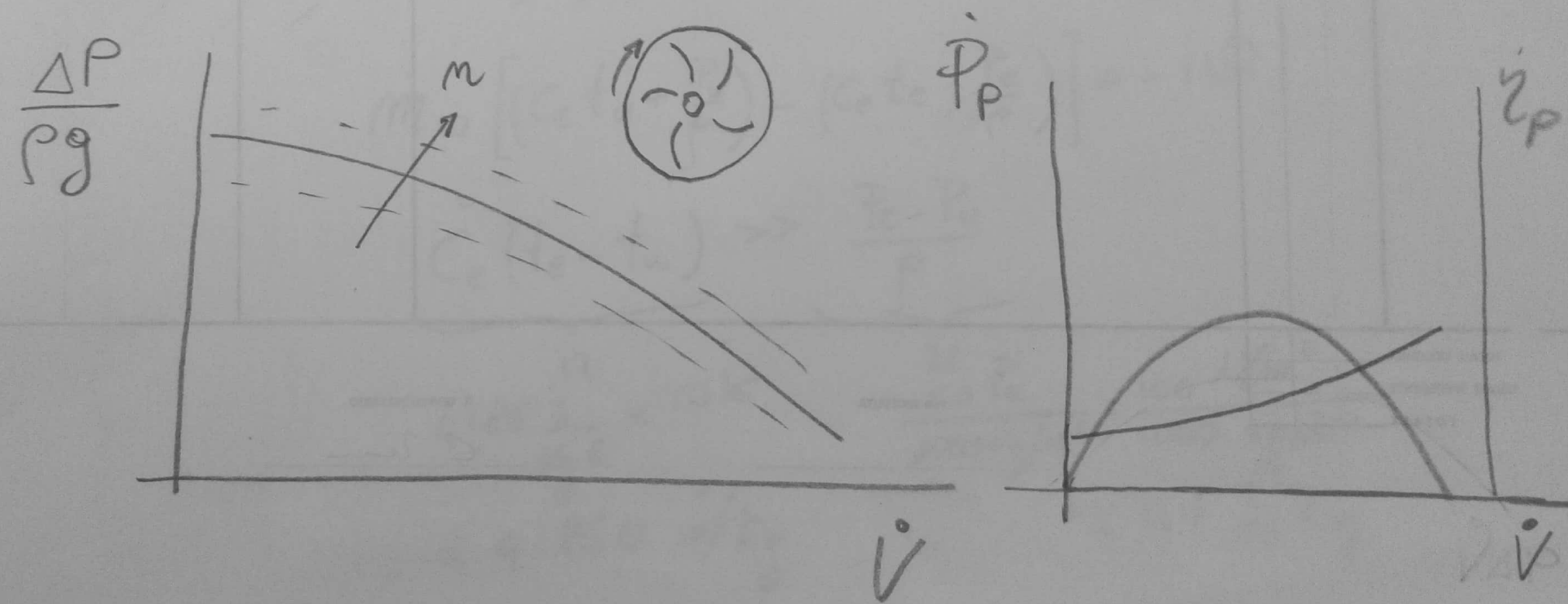
- la potenza trasferita al fluido $\dot{V} \Delta P$
- la potenza "dissipata" in calore e rumore degli attriti meccanici
- la potenza "spesa" per il funzionamento degli "accessori" (es. inverter)
- la potenza "dissipata" in calore dal motore elettrico
- la potenza associata al trattamento della portata ricircolata.

- $\Delta H > 0$
Si tiene conto di tutte queste "perdite" tramite un "rendimento"

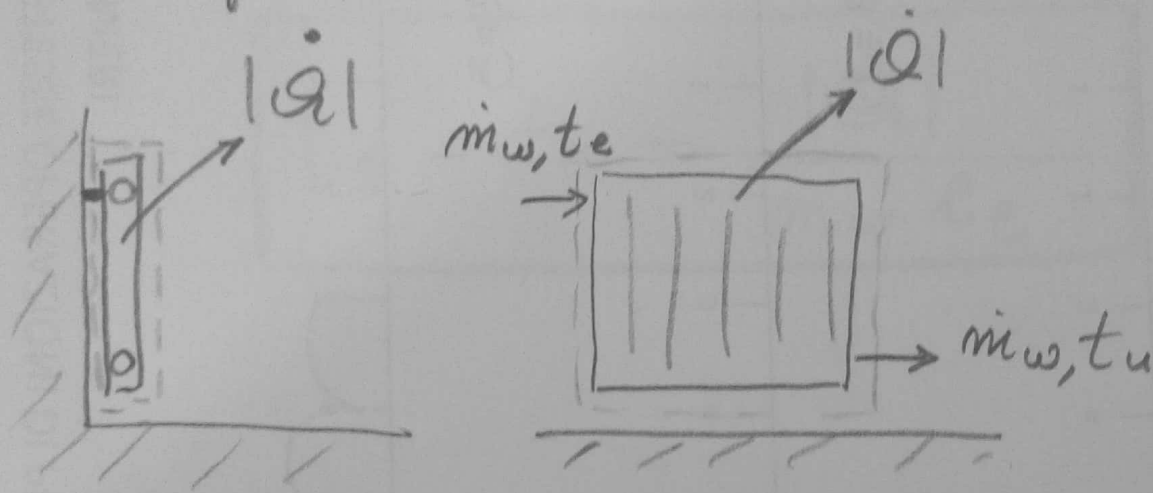
$$\eta \equiv \frac{\text{Guadagno}}{\text{spesa}} = \frac{\dot{V} \Delta P}{P_{el}} \leftarrow \text{potenza ass. dal motore elettrico.}$$

Si separano in generale i rendimenti di pompa e motore elettrico:

$$\frac{\dot{V} \Delta P}{\dot{P}_p} \frac{\dot{P}_p}{P_{el}} = \eta_p \eta_{el}$$



2) Termosifone :



$$\dot{m}_w \left[\left(c_e t_u + \frac{P_u}{\rho} \right) - \left(c_e t_e + \frac{P_e}{\rho} \right) \right] = - |\dot{Q}|$$

$$c_e (t_e - t_u) \Rightarrow \frac{P_e - P_u}{\rho}$$

$$\frac{4186 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \times 10 \text{ K}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 41860 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\frac{21 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3} = \frac{100 \text{ N/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

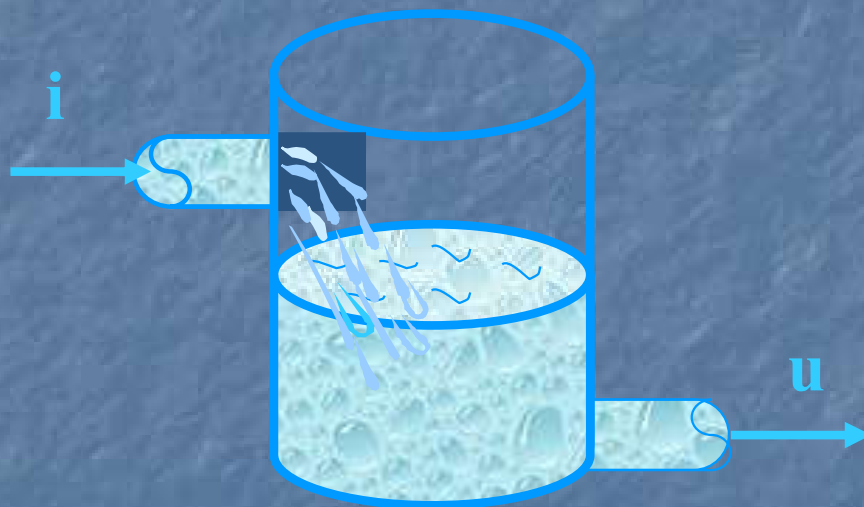
$$= 0,1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Per calcolare il raffreddamento dell'acqua:

$$t_e - t_u = \frac{|\dot{Q}|}{m_w c_e}$$

Un serbatoio d'acqua ha la forma di un cilindro con 60 cm di diametro e 120 cm di altezza. Il condotto di carico immette 2 kg/s di acqua; attraverso il tubo di scarico (raggio interno 2 cm) l'acqua esce alla velocità di 0,5 m/s.

Quanto tempo è necessario per riempire la metà del serbatoio?



Acqua

$$\phi_s = 60 \text{ cm} \quad h_s = 120 \text{ cm}$$

$$\dot{m}_i = 2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$w_u = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad r_u = 2 \text{ cm}$$



$$(\dot{m}_i - \dot{m}_u) \Delta\vartheta = \Delta m$$

$$\dot{m}_u = \rho w A_u$$

$$\dot{m}_u = 1000 \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot 0,02^2 = 0,63 \text{ kg/s}$$

$$\Delta m = \rho \Delta V$$

$$\Delta m = 1000 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot 0,30^2 = 170 \text{ kg}$$

$$\Delta\vartheta = \frac{\Delta m}{(\dot{m}_i - \dot{m}_u)} = \frac{170}{(2 - 0,63)} = \underline{\underline{124 \text{ s}}}$$

Limiti del primo principio

- Non spiega la direzione dei fenomeni (ovvero delle trasformazioni termodinamiche)
- Non spiega la diversa qualità dell'energia
- Non da alcuna indicazione sulla possibilità di trasformare una forma di energia in un'altra