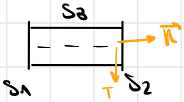
• assenti campi di forza non conservativi

$$\int_V f'_{dist}\,\rho\,\vec{v}\,dV = 0$$

• $S_1 ; S_2 \quad \tau \simeq 0$



$$\int \tau_t \vec{v}\, dS = 0$$

$$\int_V \frac{\partial \rho\left(u + \frac{V^2}{2} + \Sigma\Phi_i\right)}{\partial t} dV = \dot{L} + \dot{Q} + \int_{S_1}\left(h + \frac{V^2}{2} + \Sigma\Phi_i\right)\rho v_n dS - \int_{S_2}\left(h + \frac{V^2}{2} + \Sigma\Phi_i\right)\rho v_n dS$$

• MONODIMENSIONALE

$$\int_L \frac{\partial \rho\left(u + \frac{V^2}{2} + \Sigma\Phi_i\right)}{\partial t} S\,dx = \dot{L} + \dot{Q} + \left(h_1 + V_1^2/2 + \Sigma\Phi_{i,1}\right)\rho_1 V_1 S_1 - \left(h_2 + V_2^2/2 + \Sigma\Phi_{i,2}\right)\rho_2 V_2 S_2$$

x: ascissa curvilinea $S(x)$

caso stazionario $\partial/\partial t = 0$

$$\dot{L} + \dot{Q} = \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + \Sigma\Phi_i\right)\dot{m}_2 - \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + \Sigma\Phi_i\right)\dot{m}_1$$

$\dot{m} = \rho V_n S$ [kg/s]

pr. cons. massa (stazionario) $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$ kg/s

$$\dot{L} + \dot{Q} = \dot{m}\left[\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + \Sigma\Phi_{i,2}\right) - \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + \Sigma\Phi_{i,1}\right)\right]$$

(1 ingresso, 1 uscita, monodim $\partial/\partial t = 0$)

↓ N uscite, M ingressi

$$\dot{L} + \dot{Q} = \sum_{j=1}^{N} \dot{m}_j\left(h_j + V_j^2/2 + \Sigma\Phi_{i,j}\right) - \sum_{k=1}^{M} \dot{m}_k\left(h_k + \frac{V_k^2}{2} + \Sigma\Phi_{i,k}\right)$$

↳ HP: unico campo forze conservative = gravitazionale $\Sigma\Phi_i = \Phi_{grav} = gz$

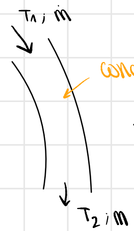
$$\rightarrow \dot{L} + \dot{Q} = \dot{m}\left[\left(h_2 + V_2^2/2 + gz_2\right) - \left(h_1 + V_1^2/2 + gz_1\right)\right] \quad [W]$$

↓ divido per $\dot{m}$

$dh = c_p dT$

$$L + Q = \left(h_2 + V_2^2/2 + gz_2\right) - \left(h_1 + V_1^2/2 + gz_1\right) \quad [J/kg]$$

valido per fluidi comprimibili e incomprimibili



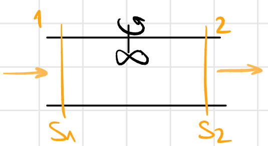
$L = 0$

$z_1 = z_2$

$T_2 > T_1$

Applicazione p. cons. energia MACCHINA A FLUIDO

monodim. $\partial/\partial t = 0$



$$L = (h_2 - h_1) + \left(\frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2}\right) + (gz_2 - gz_1) - Q \quad [J/kg]$$

$$TdS = dh - vdP = dh - \frac{dP}{\rho} \rightarrow \text{EQ. FONDAMENTALE } TdS$$

$dh = TdS + \frac{dP}{\rho}$

$$L = \int_1^2 TdS + \int_1^2 \frac{dP}{\rho} + \left(\frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2}\right) + g(z_2 - z_1) - Q$$

$$ds = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{REV} = \underbrace{\left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{1\to 2}}_{\text{Q scambiato con l'esterno nella trasf. reale } 1\to 2} + \sigma$$

σ → > 0 (IRREVERSIBILE)

σ → = 0 (REVERSIBILE)

→ generazione entropia irreversibilità → attriti interni del fluido

$$ds = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{1\to 2} + \left(\frac{\delta L_W}{T}\right)$$

→ lavoro forze d'attrito nel fluido

$\int_{S_{tubo}} \vec{\tau}\,\vec{V}\,dS = 0$ (cond. aderenza)

$\vec{V} = 0$ m/s

$$L = \int_1^2 T\left(\underbrace{\cancel{\frac{\delta Q}{T}}}_{=Q} + \frac{\delta L_W}{T}\right) + \int_1^2 \frac{dP}{\rho} + \left(\frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2}\right) + g(z_2 - z_1) - \cancel{Q}$$

lavoro reale meccanico macchina ←
$$\boxed{L = L_W + \int_1^2 v\,dP + \left(\frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2}\right) + g(z_2 - z_1)}$$
→ fluido comprimibile

L_W → perse

$\int_1^2 v\,dP$ → trasferita al fluido

$V_2 \simeq V_1$

$g(z_2-z_1)$ → $\simeq 0$

Ideale → no L_W (contenuto irreversibilità)
nella realtà è impossibile

- operatrici → ρ = cost (pompa)
  → comprimibili (compressori)

$$L = (h_2 - h_1) + \cancel{\left(V_2^2/2 - V_1^2/2\right)} + \cancel{g(z_2 - z_1)} - Q = L_W + \int_1^2 v\,dP + \cancel{\left(\frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2}\right)} + \cancel{g(z_2 - z_1)}$$

⇓ ρ = cost $h = u + Pv$

$$(u_2 - u_1) + \cancel{v(P_2 - P_1)} - Q = L_W + \cancel{v(P_2 - P_1)} \implies L_W = (u_2 - u_1) - Q = Y \quad (L_W \to \rho \text{ cost})$$

$$\rho = \text{cost},\ c = \text{cost},\ \Delta U = c\Delta T = Q + L_W = c\Delta T_{Q_E} + c\Delta T_W = c(\Delta T_{Q_E} + \Delta T_W)$$

$$\Delta T = \Delta T_{Q_E} + \Delta T_{L_W}$$

ΔT_{Q_E} → dovuta allo scambio termico tra fluido e AMB ext

ΔT_{L_W} → dissipazioni causate dall'attrito

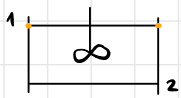
- Adiabatica $Q = 0 \to \Delta T_{Q_E} = 0$

inefficienze di trasformazione

$$\Delta T_{L_W} = \frac{1}{c}\left\{L - \left[\frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2}\right) + g(z_2 - z_1)\right]\right\}$$

L → lavoro che fornisco alla pompa

$[\ldots]$ → lavoro che trasferisco al fluido



$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g(z_2) + Y$$

Y → irreversibilità (Trinomio di Bernoulli)

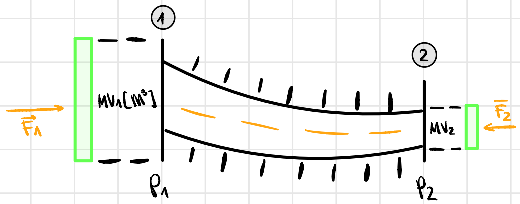
Lavoro di Pulsione

$$L + Q + \dot m\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g z_1\right) = \dot m\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2\right) \quad [W]$$

potenza meccanica — potenza termica — $h = U + PV$ — contributo cinetico — energia potenziale

energia interna (U)

lavoro di pulsione (PV) ? lavoro necessario per muovere il fluido $S_1 \to S_2$



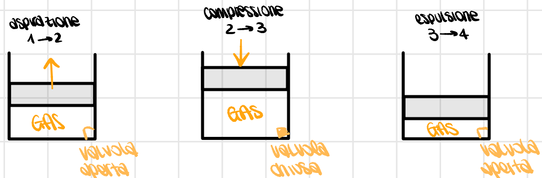
lavoro $F_1 = P_1 v_1$ ⊕ (lavoro entrante)

$$\left[Pa \frac{m^3}{kg}\right] = \frac{kg\,m}{s^2 m^2}\frac{m^3}{kg} = \frac{m^2}{s^2} = \left[\frac{J}{kg}\right]$$

$P_1 V_1 \to$ lavoro di pulsione entrante S_1

$P_2 V_2 \to$ lavoro di pulsione uscente

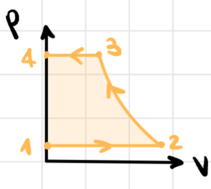
Compressore alternativo (sistema cilindro pistone aperto)



$\boxed{L = \int_2^3 V\,dP}$ (trascuro contributo cinetico e potenziale) trasformazione reversibile

$L = h_3 - h_2$ $(Q=0)$ $= c_p(T_3 - T_2)$ (gas perfetto) $= \left[\left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right] T_2 c_p$

$PV^\gamma = cost$



$$\begin{cases} L_{\underset{1\to2}{ASP}} = -\int_1^2 P\,dV = -P_2\int_1^2 dV = -P_2(V_2 - 0) = -P_2V_2 \\ + \\ L_{\underset{2\to3}{COMP\ ADIAB}} = \Delta U = c_V(T_3 - T_2) = -\frac{1}{\gamma-1}P_2V_2\left(1 - (P_3/P_2)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right) \\ + \\ L_{\underset{3\to4}{ESP}} = -\int_3^4 P\,dV = -P_3(0 - V_3) = P_3V_3 \end{cases}$$

$$L = \underbrace{-\frac{1}{\gamma-1}P_2V_2\left(1 - \left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right)}_{\text{compressione } 2\to3 \text{ sistema chiuso } c_V(T_3-T_2)} + \underbrace{P_3V_3 - P_2V_2}_{\text{contributo lavoro pulsione}} = c_V(T_3 - T_2) + R^*(T_3 - T_2) = c_p(T_3 - T_2) = h_3 - h_2$$

contributo lavoro pulsione — gas perfetto $P_3V_3 = \frac{R}{MM}T_3$, $P_2V_2 = \frac{R}{MM}T_2$