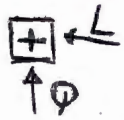
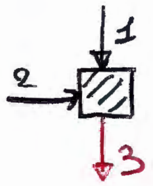
~~*~~ EQUAZIONI CARATTERISTICHE COMPONENTI ~~*~~ REGIME STAZIONARIO



MIXER (miscela 2 o più correnti)



BILANCIO DI MASSA

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

BILANCIO DI ENERGIA $\ell = 0$ (non si compie lavoro) $q = 0$ (adiabatico)

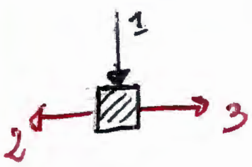
$$\dot{m}_1\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g z_1\right) + \dot{m}_2\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2\right) = \dot{m}_3\left(h_3 + \frac{V_3^2}{2} + g z_3\right) \; [W]$$

GENERALMENTE $z_1 = z_2 = z_3$ (energia potenziale trascurabile)

→ i bilanci possono essere estesi alla miscelazione di più flussi

→ nel caso ideale $P_1 = P_2 = P_3$

SPLITTER (~~separa una corrente~~ (separa una corrente)



BILANCIO DI MASSA

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

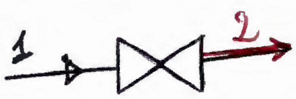
BILANCIO DI ENERGIA $\ell = 0$; $q = 0$

$$\dot{m}_1\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g z_1\right) = \dot{m}_2\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2\right) + \dot{m}_3\left(h_3 + \frac{V_3^2}{2} + g z_3\right) \; [W]$$

GENERALMENTE $z_1 = z_2 = z_3$

→ nel caso ideale $P_1 = P_2 = P_3$

VALVOLA DI LAMINAZIONE ($P_2 < P_1$)



BILANCIO DI MASSA

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

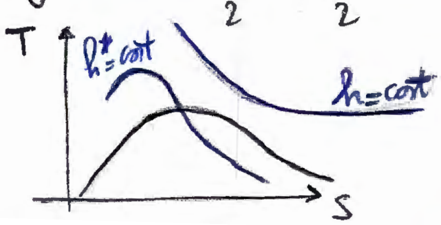
BILANCIO DI ENERGIA

$$\dot{m}_1\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g z_1\right) = \dot{m}_2\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2\right)$$

$\ell = 0$ (no parti mobili)

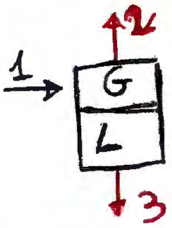
→ nel caso in cui $g z_1 = g z_2$ e $\frac{V_1^2}{2} - \frac{V_2^2}{2} = 0 \Longrightarrow \underbrace{h_1 = h_2}_{\text{TRASFORMAZIONE ISOENTALPICA}}$

~~ADIABATICA~~



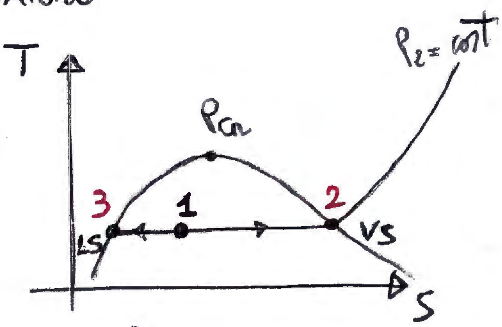
La temperatura a valle della laminazione può essere $\gtreqless 0$ ⇒ vedi andamento delle isoentalpiche

SEPARATORE (SEPARAZIONE DI UNA MISCELA BIFASE IN DUE CORRENTI → VAPORE SATURO, → LIQUIDO SATURO)



*** BILANCIO DI MASSA ***

$$\dot m_1 = \dot m_2 + \dot m_3$$



*** BILANCIO DI ENERGIA ***

$$\cancel{\dot m_1 h_1 + \dot q + \dot l + \frac{V_1^2}{2} + g z_1 = \dot m_2 \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2\right) + \dot m_3 \left(h_3 + \frac{V_3^2}{2} + g z_3\right)}$$

$$\dot m_1 \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g z_1\right) + \dot Q + \dot L = \dot m_2 \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2\right) + \dot m_3 \left(h_3 + \frac{V_3^2}{2} + g z_3\right)$$

$\dot L = 0$ (NO ORGANI MOBILI)

SE ADIABATICO ⇒ $\dot Q = 0$ GENERALMENTE $g z_1 = g z_2$ ED ENERGIA CINETICA TRASCURABILE

⇓

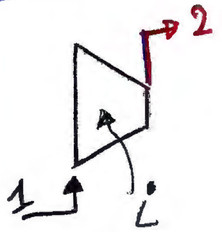
$$\dot m_1 h_1 = \dot m_2 h_2 + \dot m_3 h_3$$

⇓

$$\dot m_1 h_1 (P_1, x_1) = \dot m_2 \overbrace{h_{VS}(P_1)}^{\text{VAPORE SATURO}} + \dot m_3 \overbrace{h_{LS}(P_1)}^{\text{LIQUIDO SATURO}}$$

SE IDEALE $P_1 = P_2 = P_3$

COMPRESSORE $P_2 > P_1$ (FLUIDO COMPRIMIBILE)



*** BILANCIO MASSA ***

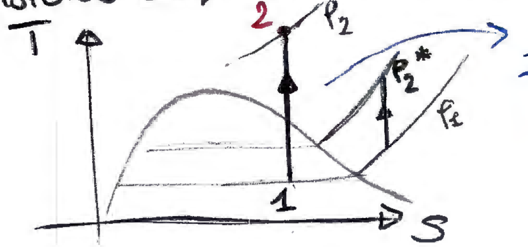
$$\dot m_1 = \dot m_2 = \dot m$$

*** BILANCIO ENERGIA ***

$$\dot m_1 \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g z_1\right) + \dot L + \dot Q = \dot m_2 \cdot \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2\right)$$

GENERALMENTE: $g z_1 = g z_2$

× TRASFORMAZIONE ADIABATICA REVERSIBILE ⇒ ISOENTROPICA ($\dot Q = 0$)



COMPRESSIONE ISOENTROPICA

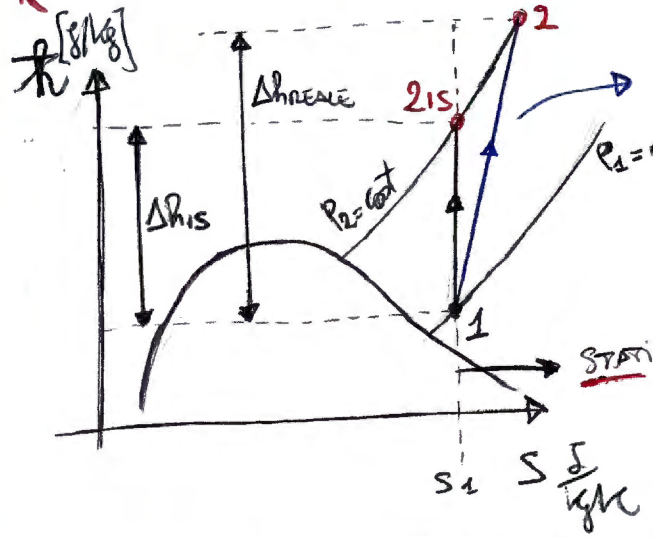
$$\dot m_1 h_1 + \dot L = \dot m_2 h_2$$

$$\dot L = \dot m (h_2 - h_1) > 0 \text{ (LAVORO ENTRANTE)}$$

× TRASFORMAZIONE REALE SI INTRODUCE IL RENDIMENTO ISOENTROPICO

$$\eta_{is,comp} = \frac{\Delta h_{is}}{\Delta h_{reale}} = \frac{h_{2,is} - h_1}{h_2 - h_1}$$

TRASFORMAZIONE REALE È AD ENTROPIA CRESCENTE



COMPRESSIONE REALE ($S_2 > S_1$)

STATI RAGGIUNGIBILI DA UNA COMPRESSIONE REALE

IL RENDIMENTO ISOENTROPICO È DATO DAL RAPPORTO TRA IL SALTO ENTALPICO PER UNA TRASFORMAZIONE ISOENTROPICA (Δh_{is}) E IL SALTO ENTALPICO PER UNA TRASFORMAZIONE REALE ($S_2 > S_1$) Δh ESEGUITA TRA LE STESSE PRESSIONI (P_1, P_2)

• NEL CASO DI GAS IDEALE CON c_p COSTANTE IL RENDIMENTO ISOENTROPICO SI PUÒ ESPRIMERE COME:

$$\eta_{is,comp} = \frac{\Delta T_{is}}{\Delta T_{reale}} = \frac{T_{2,is} - T_1}{T_2 - T_1}$$

(× UN GAS IDEALE A c_p = cost LE ISOENTALPICHE COINCIDONO CON LE ISOTERME)

• × UN COMPRESSORE LE IRREVERSIBILITÀ CAUSANO UN AUMENTO DEL CONSUMO DELLA MACCHINA.

• IL LAVORO ELETTRICO CONSUMATO SI PUÒ CALCOLARE COME

$$\dot{L}_{EL} = \frac{\dot{m}\,\Delta h_{reale}}{\eta_{org} \cdot \eta_{EL}}$$

→ LE INEFFICIENZE NELLA CONVERSIONE DA ENERGIA ELETTRICA AD ENERGIA MECCANICA AUMENTA IL CONSUMO DEL COMPRESSORE

RENDIMENTO MECCANICO-ELETTRICO

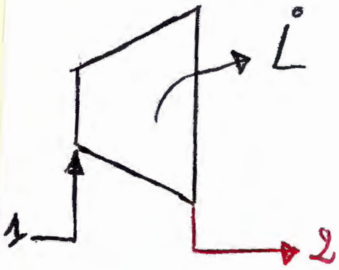
⇓

Δh_{reale}

$$\dot{L}_{EL} = \frac{\dot{m}\,\Delta h_{is}}{\eta_{org} \cdot \eta_{EL} \cdot \eta_{is}}$$

TURBINA ($P_2 < P_1$) ESPANSIONE (FLUIDO COMPRIMIBILE)

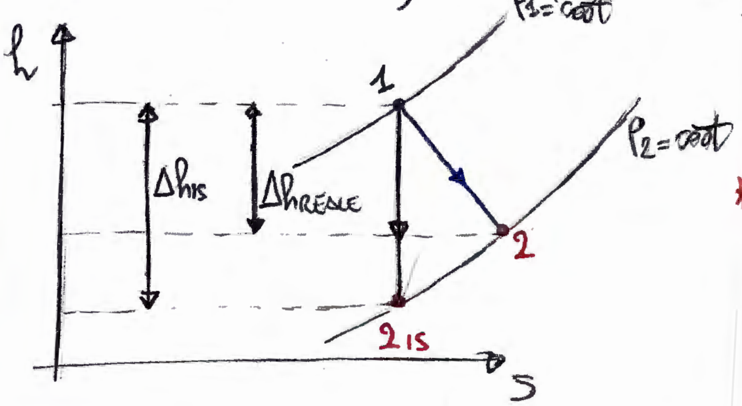
IN ANALOGIA A QUANTO FATTO PER IL COMPRESSORE



$$\dot m_1 = \dot m_2 = \dot m$$

$$\dot m_1 h_1 + \dot L = \dot m_2 h_2 \qquad (g z_1 = g z_2 \text{, ENERGIA CINETICA TRASCURATA})$$

$$\dot L = \dot m (h_2 - h_1) < 0 \quad \text{(LAVORO USCENTE)}$$



$$\boxed{\eta_{IS,\,TURBINA} = \frac{\Delta h_{REALE}}{\Delta h_{IS}}}$$

- X UN'ESPANSIONE LE IRREVERSIBILITÀ CAUSANO UNA ~~[illegible]~~ RIDUZIONE DEL LAVORO PRODOTTO DALLA MACCHINA

- LAVORO ELETTRICO PRODOTTO DALLA TURBINA

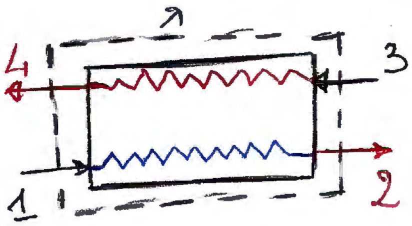
$$\boxed{\dot L_{el} = \dot m \, \Delta h_{REALE} \, \eta_{ORG} \cdot \eta_{EL}} \Longrightarrow$$ LE INEFFICIENZE RIDUCONO IL LAVORO ELETTRICO PRODOTTO DALLA TURBINA

RENDIMENTO ORGANICO-ELETTRICO

$$\Downarrow$$

$$\boxed{\dot L_{EL} = \dot m \, \Delta h_{IS} \cdot \eta_{IS} \cdot \eta_{ORG} \cdot \eta_{EL}}$$

Scambiatore di calore



Bilancio di massa

$$\dot m_3 = \dot m_4$$

$$\dot m_1 = \dot m_2$$

Bilancio di energia (Potenza meccanica nulla $\dot L = 0$; Δ energia cinetica e $\Delta E_{pot} = 0$) $\dot Q = 0$ → potenza termica verso ambiente nulla ⇓ caso ideale senza perdite termiche

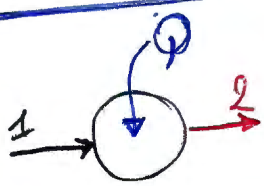
$$\dot m_3 h_3 + \dot m_1 h_1 + \cancel{\dot Q} + \dot L = \dot m_4 h_4 + \dot m_2 h_2$$

$$\dot m_3 h_3 + \dot m_1 h_1 = \dot m_4 h_4 + \dot m_2 h_2$$

- Se sono assenti le perdite di carico nelle 2 correnti si ha: $P_3 = P_4$ $P_1 = P_2$

Generica aggiunta di potenza termica

→ nel caso $\dot Q < 0$ si considera il caso di sottrazione di calore

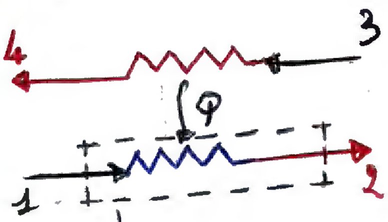


$\dot L = 0$

$$\dot m_1 = \dot m_2 = \dot m$$

$$\dot m_1 \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g z_1\right) + \dot Q = \dot m_2 \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2\right)$$

- Nel caso il volume di controllo si limita ad una corrente solo (x scambiatore di calore)



$$\dot m_1 h_1 + \dot Q = \dot m_2 h_2$$

$$\dot Q = \dot m_2 (h_2 - h_1)$$ → potenza termica trasferita (assorbita) dal fluido 1→2

Volume di controllo che racchiude una singola corrente

→ Per il calcolo dell'entalpia si deve considerare il comportamento del fluido

Liquido incomprimibile
↓ entalpia funzione di (P,T)

$$h = h_{LS}(T) + v_{LS}(T)\left(P - P_{sat}(T)\right)$$
$\neq h(P,T)$

Gas ideale (entalpia funzione solo di T)

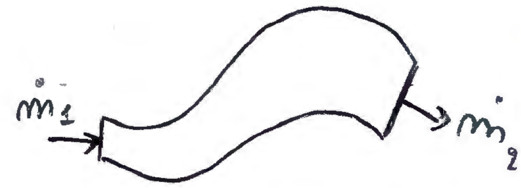
$$dh = c_p \, dT$$
⇓
$$\Delta h = c_p \Delta T$$
(c_p) dipende dalla molecola

Fluido reale
- Diagrammi
- Tabelle

RIASSUNTO EQUAZIONI DI CONSERVAZIONE SISTEMI APERTI

① EQUAZIONE CONSERVAZIONE MASSA

$$\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV = \int_{S_1} \rho v_m dS - \int_{S_2} \rho v_m dS$$



$$\Downarrow$$

$$\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV = \dot{m}_1 - \dot{m}_2$$

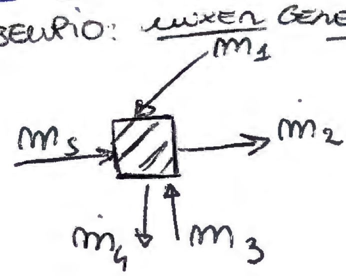
$\Downarrow$ SE CONDIZIONI STAZIONARIE $\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV$ (TERMINE DI ACCUMULO NULLO)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

→ N INGRESSI, M USCITE

$$\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV = \sum_{i=1}^{N} \dot{m}_i - \sum_{J=1}^{M} \dot{m}_J$$

ESEMPIO: MIXER GENERICO



$$\dot{m}_1 + \dot{m}_3 + \dot{m}_5 = \dot{m}_4 + \dot{m}_2$$

② EQUAZIONE CONSERVAZIONE QUANTITÀ DI MOTO

NORMALE USCENTE

$$\underbrace{M\vec{g}}_{\vec{G}} + \underbrace{\int_{S_3} \left(-P\vec{n} + \vec{\tau}\right) dS}_{\vec{R}_3} - \underbrace{P_1 S_1 \vec{n}_1}_{\vec{\Pi}_1} - \underbrace{P_2 S_2 \vec{n}_2}_{\vec{\Pi}_2} = \dot{m}\left(\vec{V}_2 - \vec{V}_1\right)$$

$\dot{m}\vec{V}_2 \to \vec{M}_2$, $\dot{m}\vec{V}_1 \to \vec{M}_1$

$$+ \int \frac{\partial}{\partial t} \rho \vec{v} \, dV$$

$\vec{R}_3$: FORZA DELLA PARETE SUL FLUIDO

$\Downarrow$ × REGIME STAZIONARIO

$$\vec{G} + \vec{R}_3 - \vec{\Pi}_1 - \vec{\Pi}_2 + \vec{M}_1 - \vec{M}_2 = 0$$

EQUAZIONE VETTORIALE

$\vec{R}_3$: FORZA PARETE SUL FLUIDO

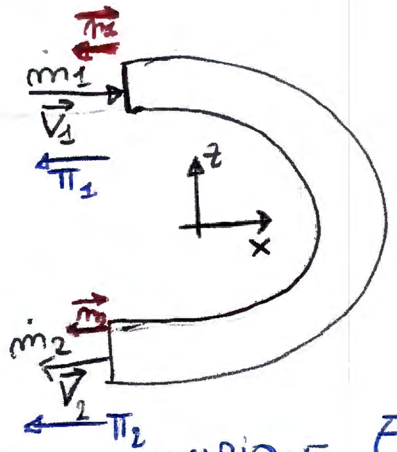
$$\left\{ -\vec{R}_3 = \vec{S}_3 = \vec{G} - \vec{\Pi}_1 - \vec{\Pi}_2 + \vec{M}_1 - \vec{M}_2 \right\}$$

SPINTA SULLA PARETE

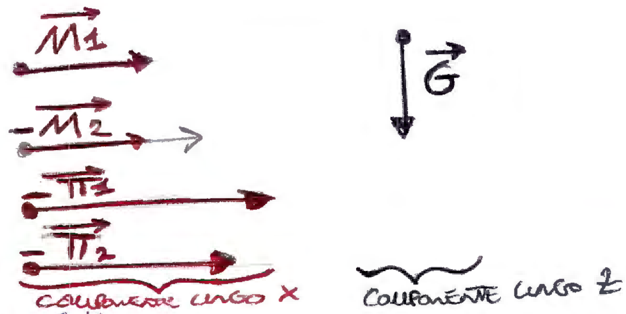
ESEMPIO: SPINTA ESERCITATA SU UNA CURVA

↓

SEZIONE COSTANTE



$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$ (CONS. MASSA)



③ EQUAZIONE CONSERVAZIONE ENERGIA

$$\left\{ l + q + h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g z_1 = h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2 \right\} \left[\frac{J}{kg} \right] \rightarrow \text{COND. STAZIONARIE}$$

VALIDA x TUTTI i FLUIDI COMPRIMIBILI/INCOMPRIMIBILI

x FLUIDI INCOMPRIMIBILI ($\rho = \text{cost}$)

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g z_1 + L = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g z_2 + Y$$

TEOREMA DI BERNOULLI

DISSIPAZIONI ALL'INTERNO DEL FLUIDO

$$Y = U_2 - U_1 - Q$$

↓

NEL CASO DI FLUSSO ADIABATICO

$$Y = U_2 - U_1 = C_L \, \Delta T_{LW}$$

CALORE SPECIFICO DEL LIQUIDO

INCREMENTO DI TEMPERATURA COME MISURA DELLE INEFFICIENZE

RIASSUNTO 2