



POLITECNICO
MILANO 1863

Esercitazione 05 - Sistemi aperti

Esercizio 17 ([link registrazione](#))

Corso di Fisica Tecnica
a.a. 2019-2020

Prof. Gaël R. Guédon
Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano

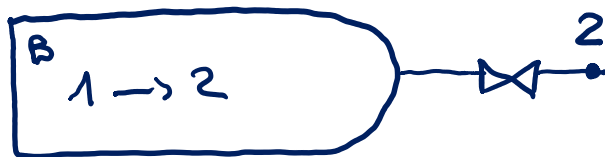
Esercizio 17

5.17. [avanzato] Si consideri lo svuotamento di una bombola di volume pari a 0.2 m^3 , contenente aria a $P_1 = 10 \text{ bar}$ e $T_1 = 293 \text{ K}$. La condizione finale è caratterizzata da $P_2 = 1 \text{ bar}$. Il processo può ritenersi adiabatico e le variazioni di energia cinetica e potenziale sono trascurabili. Calcolare:

- Le masse d'aria iniziale e finale contenute nella bombola.
- La temperatura finale T_2 .
- L'entropia prodotta per irreversibilità.

Nota: Risolvere l'esercizio con l'approccio per i sistemi aperti, in seguito verificare i risultati risolvendo con un approccio per sistemi chiusi.

$$[m_i = 2.38 \text{ kg}; m_f = 0.32 \text{ kg}; T_2 = 217.66 \text{ K}; S_{irr} = 0.861 \text{ kJ/K}]$$



DATI

$$V = 0.2 \text{ m}^3$$

$$P_1 = 10 \text{ bar} = 10 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 293 \text{ K}$$

$$P_2 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$M_i = ? \quad M_f = ?$$

$$T_2 = ? \quad S_{irr} = ?$$

Esercizio 17

$$\bullet \frac{dM}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}$$

$$\bullet \frac{dE}{dt} = \dot{m}_{in} \left(h_{in} + g z_{in} + \frac{w_{in}^2}{2} \right) - \dot{m}_{out} \left(h_{out} + g z_{out} + \frac{w_{out}^2}{2} \right) + \dot{Q} - \dot{L}_e$$

$$\bullet \frac{dS}{dt} = \dot{m}_{in} s_{in} - \dot{m}_{out} s_{out} + \dot{S}_Q + \dot{S}_{irr}$$

$$E = U + Mgz + M \frac{w^2}{2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dM}{dt} = -\dot{m}_{out} \\ \frac{dE}{dt} = -\dot{m}_{out} h_{out} \\ \frac{dS}{dt} = -\dot{m}_{out} s_{out} + \dot{S}_{irr} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M_f - M_i = -M_{out} \\ U_f - U_i = -M_{out} h_{out} \\ S_f - S_i = -M_{out} s_{out} + S_{irr} \end{array} \right.$$

Esercizio 17

$$\text{Hyp: } h_{\text{out}} = h_2(P_2, T_2)$$

$$s_{\text{out}} = s_2(P_2, T_2)$$

$$\bullet M_i = \frac{P_1 V}{R^* T_1} \quad (\text{EdS dei G.I.})$$

$$M_i = \frac{10^6 \times 0,2}{\frac{8314}{29} \times 293} = 2,38 \text{ kg}$$

$$\bullet M_f = \frac{P_2 V}{R^* T_2} \rightarrow T_2 = ?$$

$$\bullet M_f u_2 - M_i u_1 = -M_{\text{out}} h_2$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta u = c_v \Delta T \\ \Delta h = c_p \Delta T \end{array} \right\} \text{G.P.}$$

Esercizio 17

$$M_f u_{ref} + M_f c_v (T_2 - T_{ref}) - M_i u_{ref} - M_i c_v (T_1 - T_{ref}) \\ = -M_{out} h_{ref} - M_{out} c_p (T_2 - T_{ref})$$

$$h = u + Pv = u + R^* T$$

$$\cancel{M_f u_{ref}} - \cancel{M_i u_{ref}} + M_f c_v (T_2 - \cancel{T_{ref}}) - M_i c_v (T_1 - \cancel{T_{ref}}) \\ = -\cancel{M_{out} u_{ref}} - \cancel{M_{out} R^* T_{ref}} - M_{out} c_p (T_2 - \cancel{T_{ref}})$$

$$M_f - M_i = -M_{out} \quad -M_{out} R^* T_{ref} + M_{out} c_p T_{ref} = -M_{out} \underbrace{(R^* - c_p)}_{c_v} T_{ref}$$

$$M_f c_v T_2 - M_i c_v T_1 = -M_{out} c_p T_2$$

$$M_f (c_v T_2 - c_p T_2) - M_i (c_v T_1 - c_p T_2) = 0$$

Esercizio 17

$$M_f = \frac{P_2 V}{R^* T_2}$$

$$M_i = \frac{P_1 V}{R^* T_1}$$

$$\frac{P_2 \cancel{V}}{\cancel{R^* T_2}} (c_v \cancel{T_2} - c_p \cancel{T_2}) - \frac{P_1 \cancel{V}}{\cancel{R^* T_1}} (c_v T_1 - c_p T_2) = 0$$

$$P_2 (c_v - c_p) - P_1 c_v + P_1 c_p \frac{T_2}{T_1} = 0$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_1 c_v - P_2 (c_v - c_p)}{P_1 c_p} \right)$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{c_v}{c_p} - \frac{P_2 (c_v - c_p)}{P_1 c_p} \right) = T_1 \left(\frac{1}{k} - \frac{P_2 (1 - k)}{P_1 k} \right)$$

Esercizio 17

$$T_2 = 293 \left(\frac{1}{1,4} - \frac{1}{10} \times \frac{(1 - 1,4)}{1,4} \right)$$

$$T_2 = 217,66 \text{ K}$$

$$k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{7}{5} = 1,4$$

(G.P. BIATOMICO)

$$\bullet M_f = \frac{P_2 V}{R^* T_2} = 0,32 \text{ kg}$$

$$\bullet S_f - S_i = -M_{out} S_2 + S_{irr}$$

$$\cancel{M_f S_2} - M_i S_1 = \cancel{M_f S_2} - M_i S_2 + S_{irr}$$

$$S_{irr} = M_i (S_2 - S_1)$$

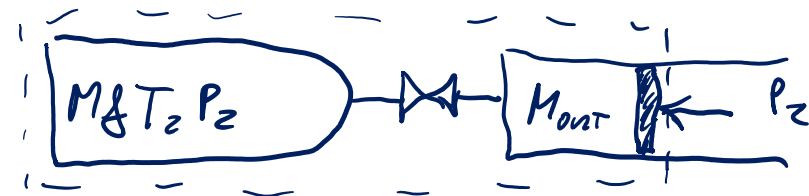
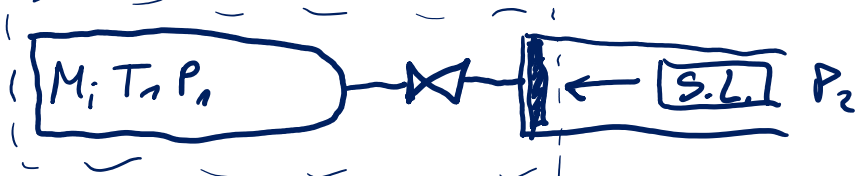
Esercizio 17

$$S_{irr} = M_i \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R^* \ln \frac{P_2}{P_1} \right)$$

$$S_{irr} = 2,38 \left(\frac{7}{5} R^* \ln \frac{217,66}{293} - R^* \ln \frac{1}{10} \right)$$

$$S_{irr} = 0,861 \text{ kJ/K}$$

SOLUZIONE ALTERNATIVA: IMPOSTAZIONE COME SISTEMA CHIUSO



Esercizio 17

$$\bullet \quad \Delta M = 0 \quad M_{f,z} - M_{i,z} = 0 \quad (M_f + M_{out}) - M_i = 0$$

$$M_f - M_i = -M_{out} \quad (\text{STESSA EQ. DI PRIMA})$$

$$\bullet \quad \Delta U = \oint_{\gamma_0} \vec{L} \cdot d\vec{\gamma} \rightarrow U_{f,z} - U_{i,z} = -P_2 (V_{out} - 0) \quad \text{INIZIO } V=0$$

$$M_f u_z + M_{out} u_z - M_i u_1 = -P_2 M_{out} v_{out} \rightarrow = v_z$$

$$M_f u_z - M_i u_1 + (M_1 - M_f) \underbrace{(u_z + P_2 v_z)}_{h_z} = 0$$

$$M_f u_z - M_i u_1 = -M_{out} h_z \quad (\text{STESSA EQ. DI PRIMA})$$

Esercizio 17

$$\bullet \Delta S = \cancel{S_{f,1}} + S_{irr} \rightarrow S_{f,2} - S_{i,2} = S_{irr}$$

$$(M_f s_2 + M_{out} s_2) - M_i s_1 = S_{irr} \quad M_{out} = M_i - M_f$$

$$(\cancel{M_f s_2} + M_i s_2 - \cancel{M_f s_2}) - M_i s_1 = S_{irr}$$

$$S_{irr} = M_i (s_2 - s_1) \quad (\text{STESSA EQ. DI PRIMA})$$