

Capitolo 5

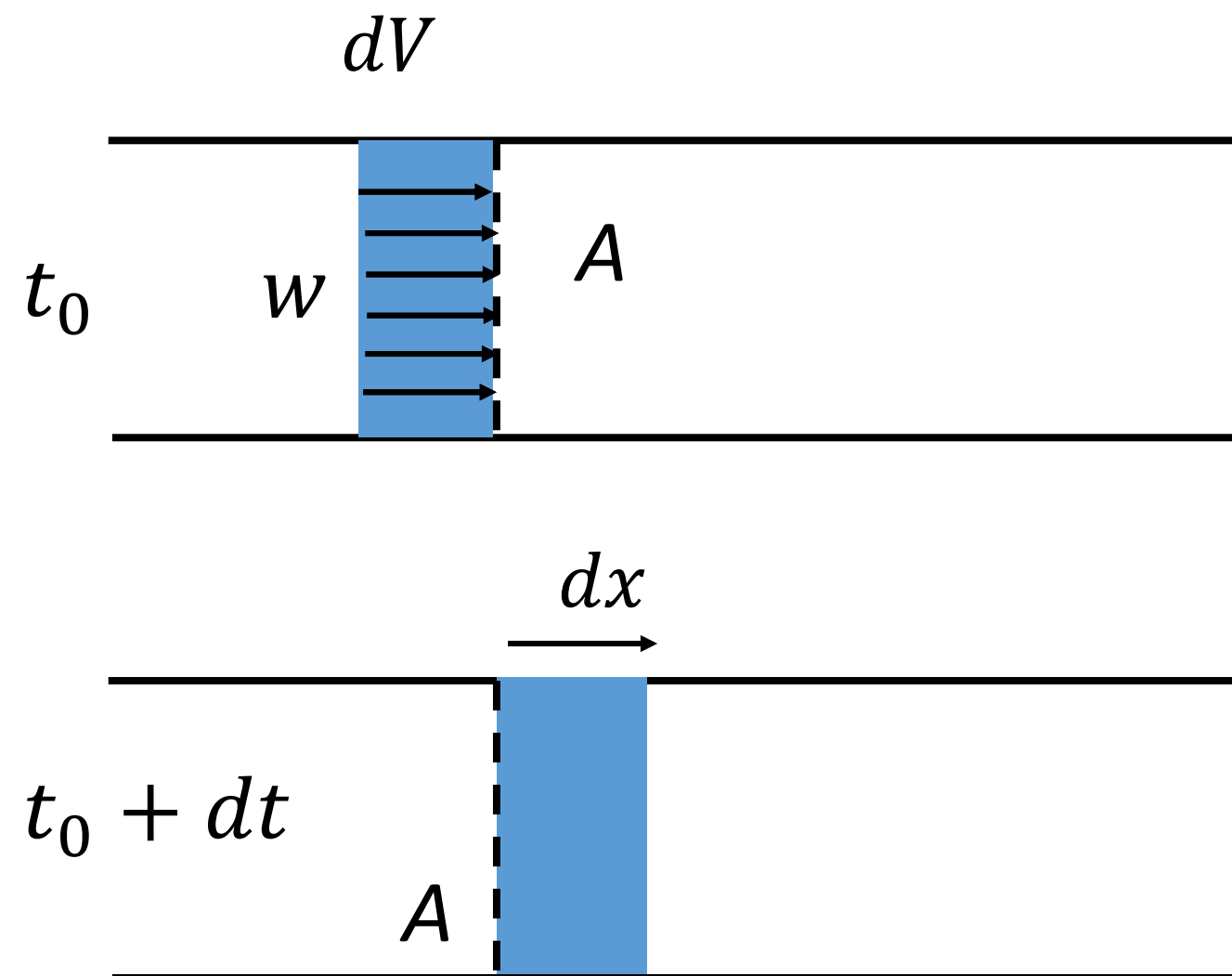
Analisi energetica ai volumi di controllo

Fisica Tecnica

Ingegneria Navale – Ingegneria Civile e Ambientale

Ottobre 2023

Portata volumetrica

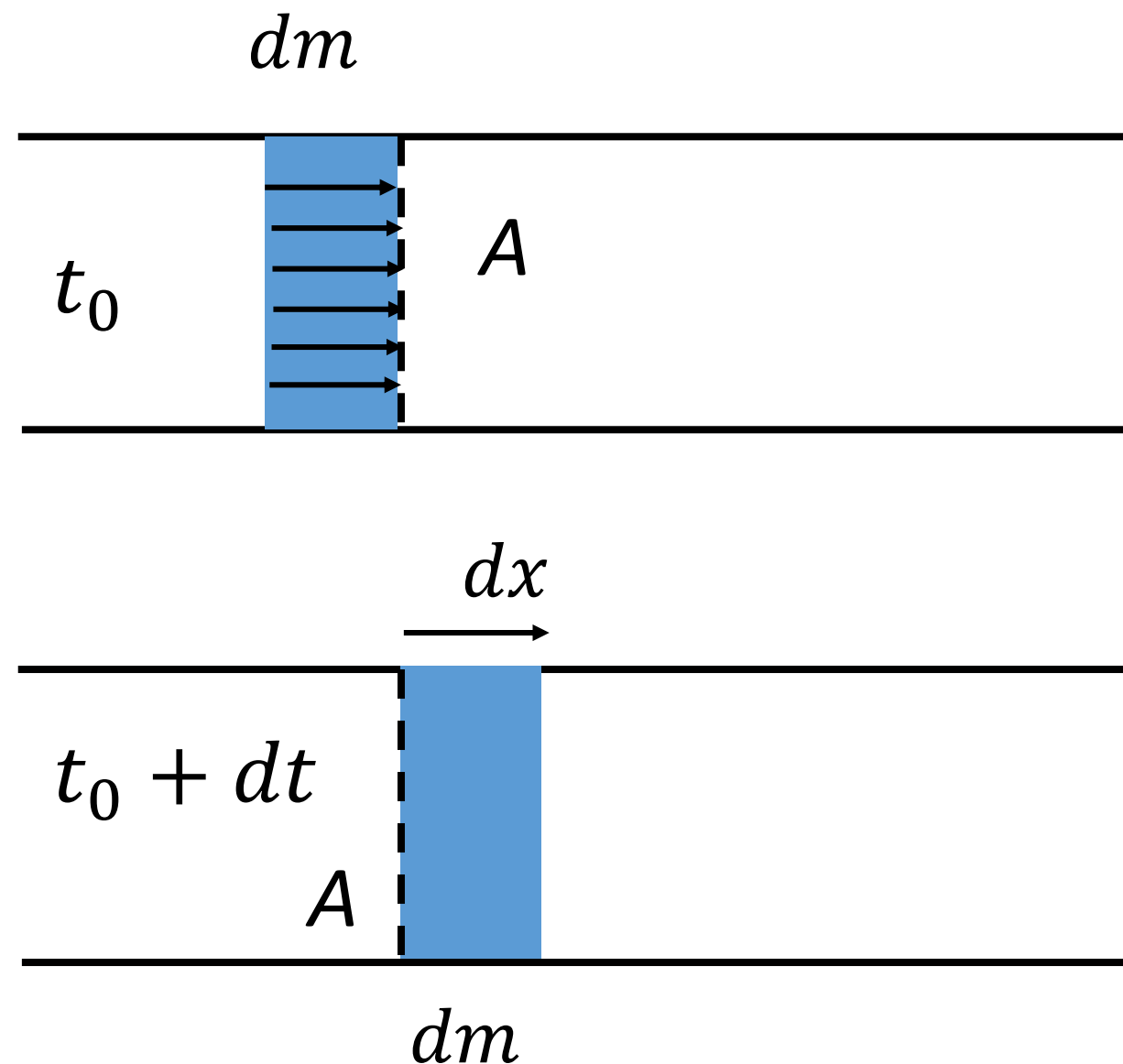


- Volume infinitesimo di fluido che transita da una sezione, velocità uniforme
- Transito nel tempo dt infinitesimo

$$dV = dx \cdot A$$

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} = \frac{dx}{dt} \cdot A = w \cdot A$$

Portata di massa



- Posso considerare la massa dm
- Transito nel tempo dt infinitesimo

$$dm = \rho \cdot dV = \frac{dV}{v}$$
$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \rho \cdot \frac{dV}{dt} = \rho \cdot \dot{V}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot w \cdot A$$

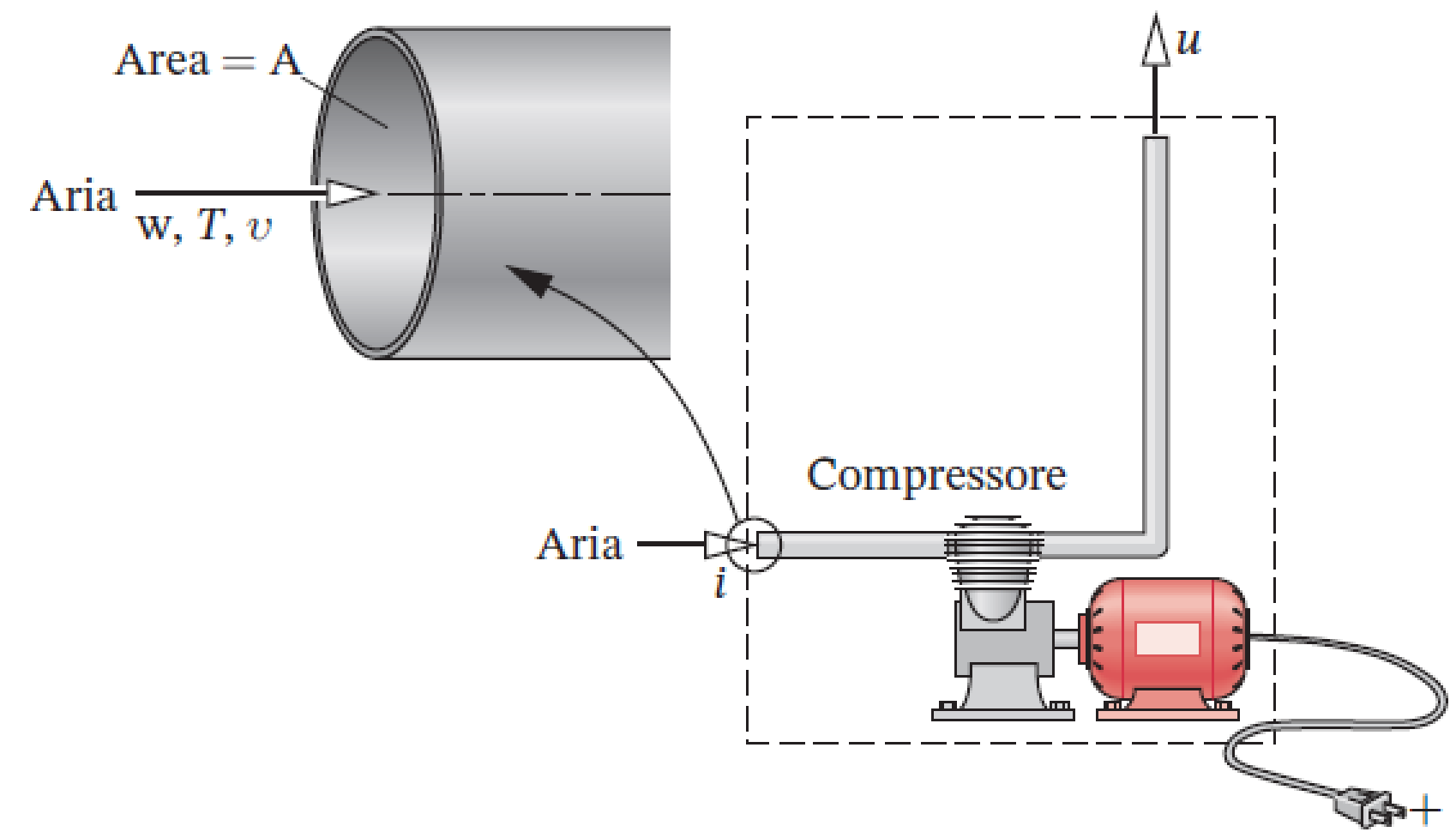
Conservazione della massa - 2

Flusso monodimensionale

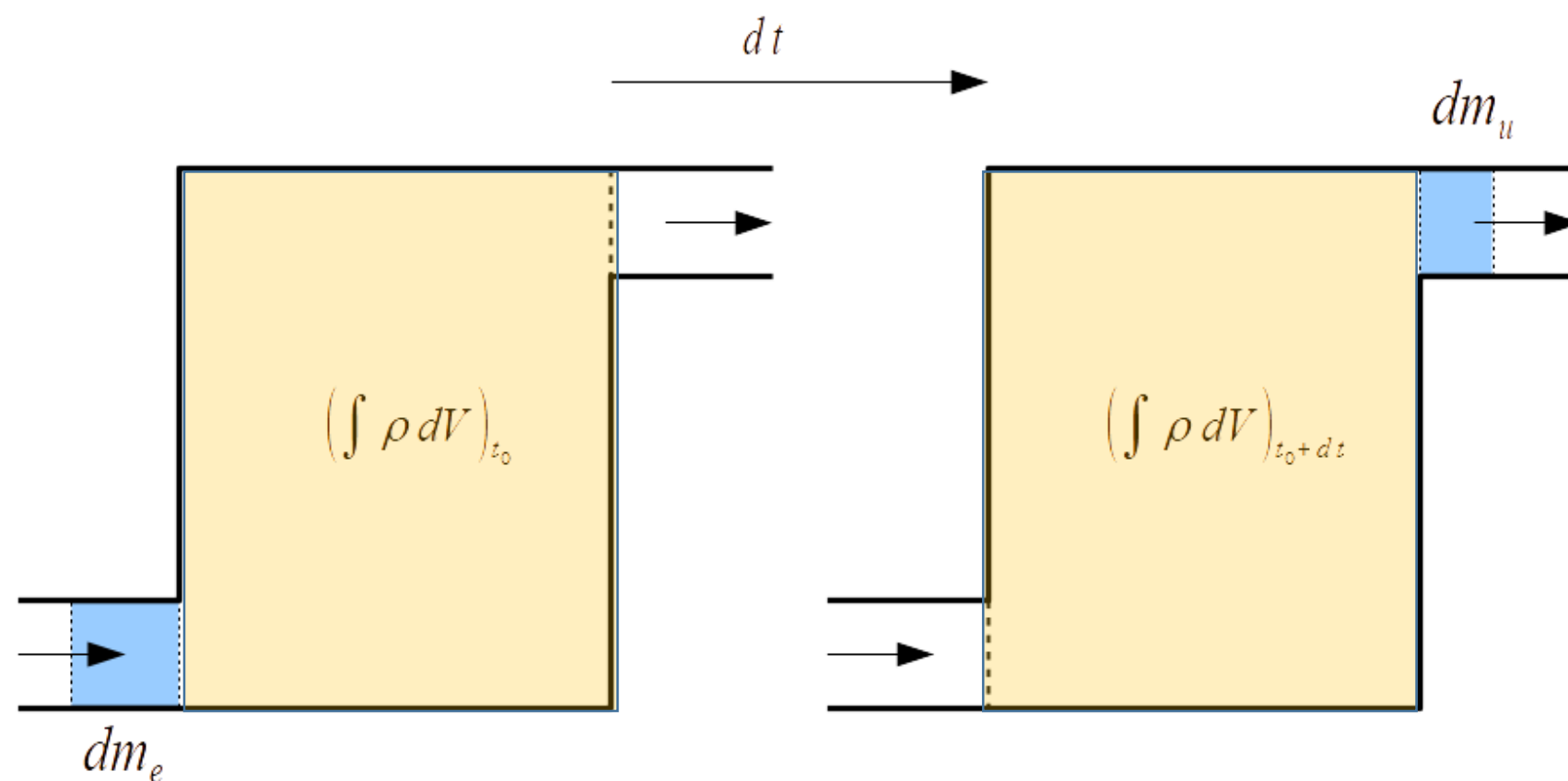
Flusso monodimensionale se:

- La velocità del fluido è normale al contorno del volume di controllo in corrispondenza;
- Tutte le proprietà intensive, incluse la velocità e il volume specifico, sono uniformi.

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot w$$



Bilancio di massa



- Massa infinitesima in entrata e in uscita nel tempo infinitesimo dt
- Sistema chiuso, la massa si conserva

$$dm_e + (m_{VC})_t = dm_u + (m_{VC})_{t+dt}$$

$$(m_{VC})_{t+dt} - (m_{VC})_t = dm_{VC}$$

$$\frac{dm_{VC}}{dt} = \frac{dm_i}{dt} - \frac{dm_u}{dt} = \dot{m}_i - \dot{m}_u$$

Conservazione della massa - 1

Bilancio della portata massica

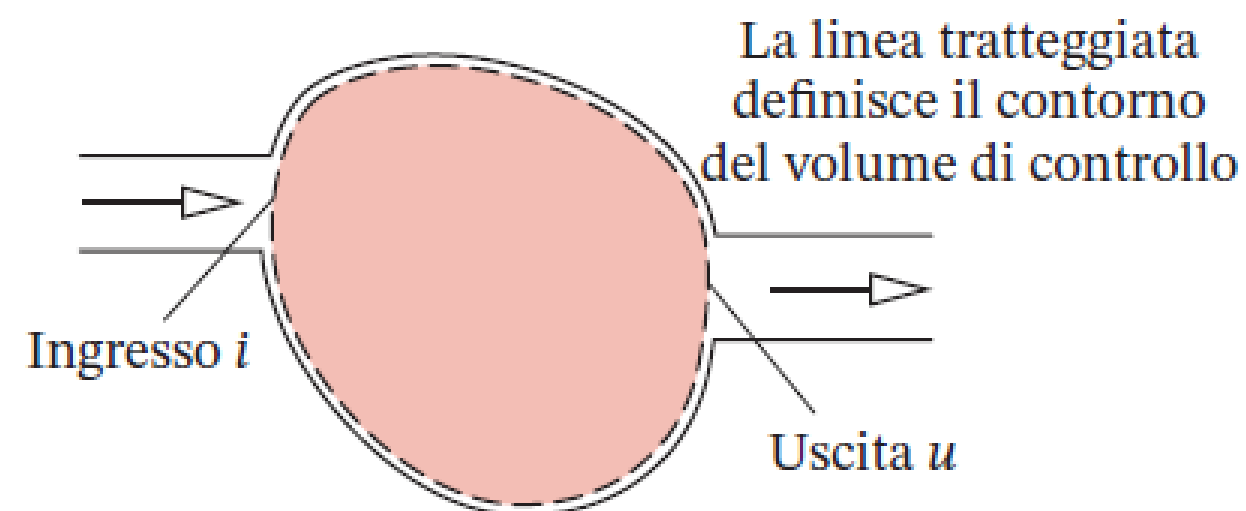
Variazione nell'unità
di tempo della massa
contenuta nel volume
di controllo all'istante
 t

=

Portata massica
entrante
attraverso
l'ingresso i
all'istante t

−

Portata massica
uscente
attraverso
l'uscita u
all'istante t

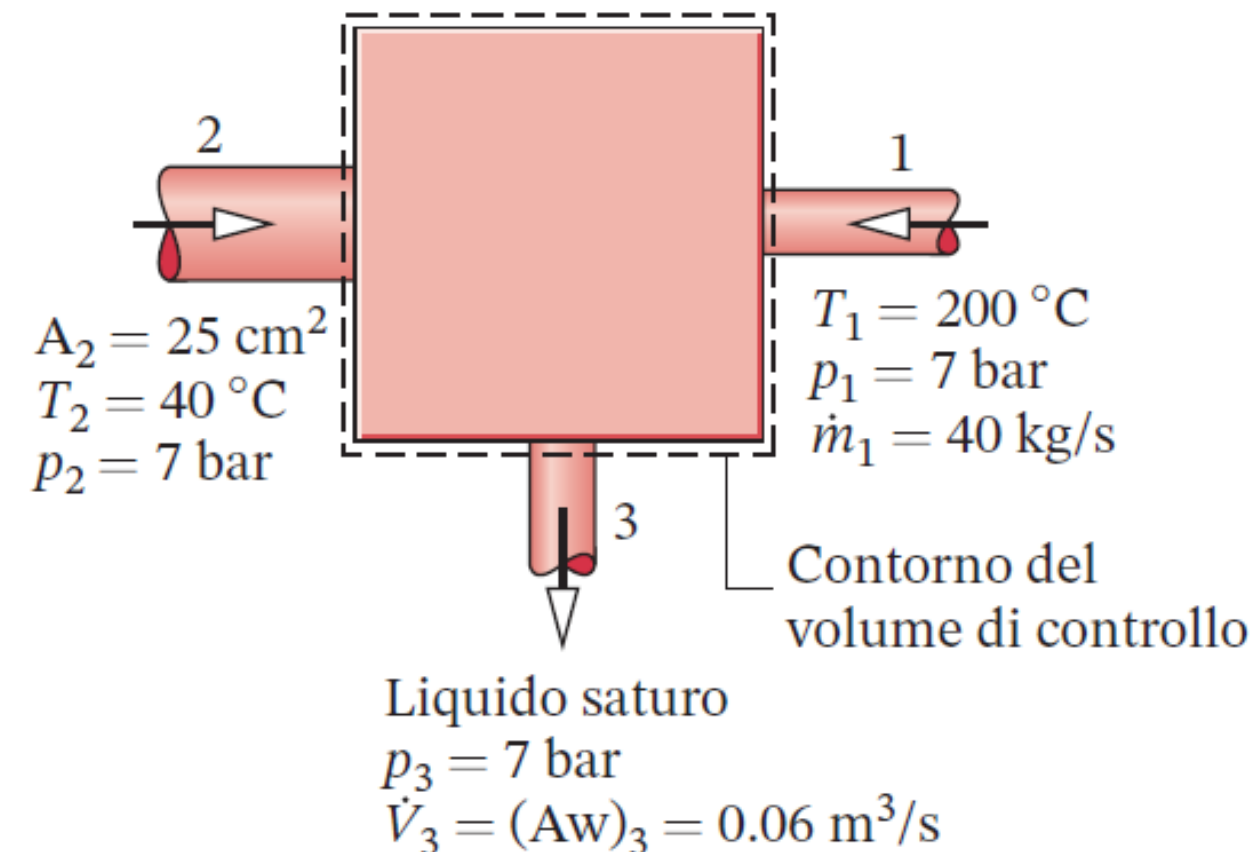


$$\frac{dm_{VC}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_u$$

Conservazione della massa - 3

Regime stazionario

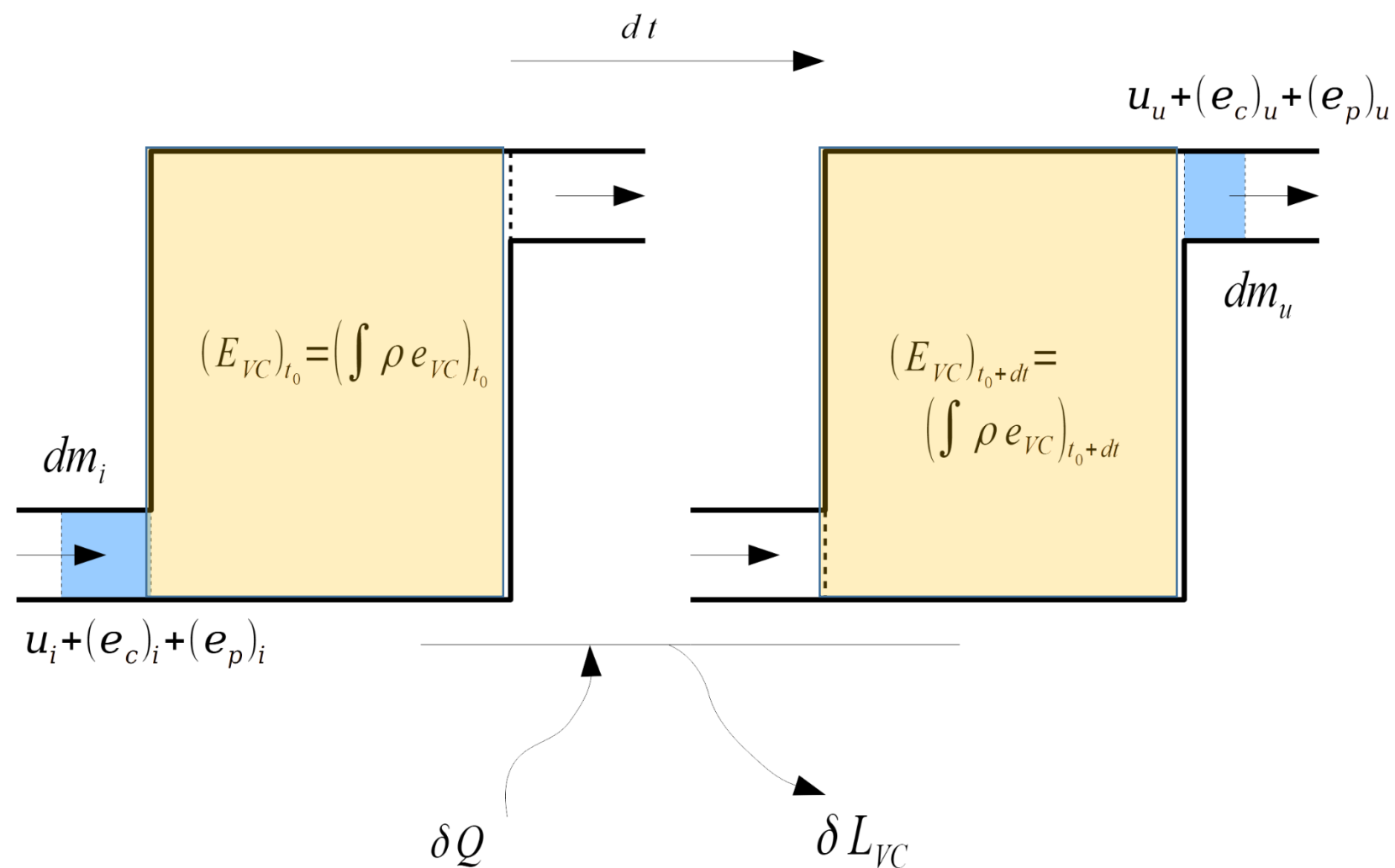
Un sistema (racchiuso da un volume di controllo) opera in **stato stazionario** se **tutte** le proprietà non variano nel tempo.



$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_u$$

Condizione necessaria ma non sufficiente: T e p potrebbero variare nel tempo.

Conservazione dell'energia



- Sistema chiuso, composto dalle stesse molecole

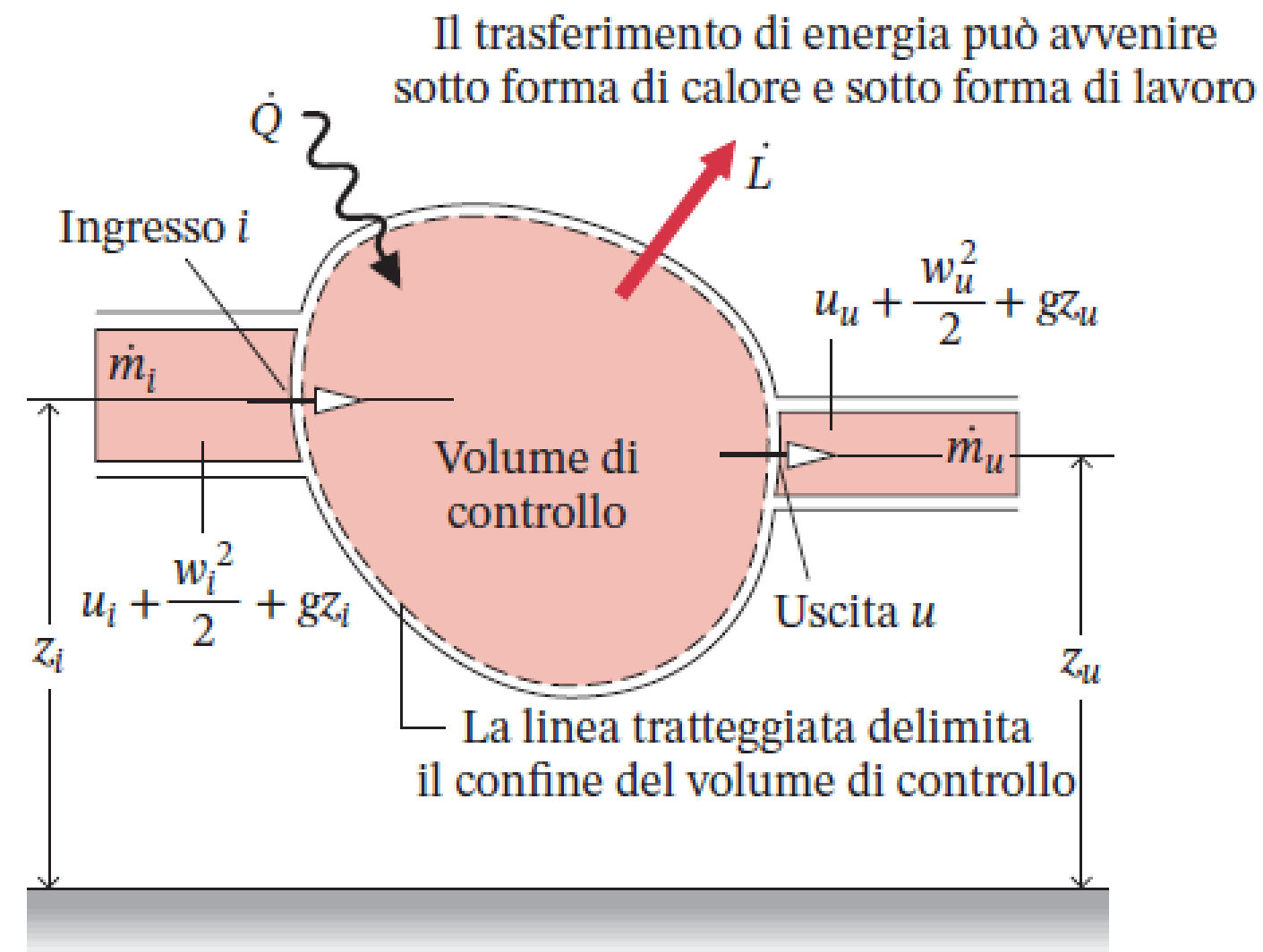
$$\begin{aligned} & dm_u \cdot (u + e_c + e_p)_u + (E_{VC})_{t_0+dt} \\ & - dm_i \cdot (u + e_c + e_p)_i - (E_{VC})_{t_0} \\ & = \delta Q - \delta L \end{aligned}$$

$$(E_{VC})_{t_0+dt} - (E_{VC})_{t_0} = dE_{VC}$$

$$\begin{aligned} \frac{dE_{VC}}{dt} &= \frac{\delta Q}{dt} - \frac{\delta L}{dt} + \frac{dm_i}{dt} (u + e_c + e_p)_i \\ &- \frac{dm_u}{dt} (u + e_c + e_p)_u \end{aligned}$$

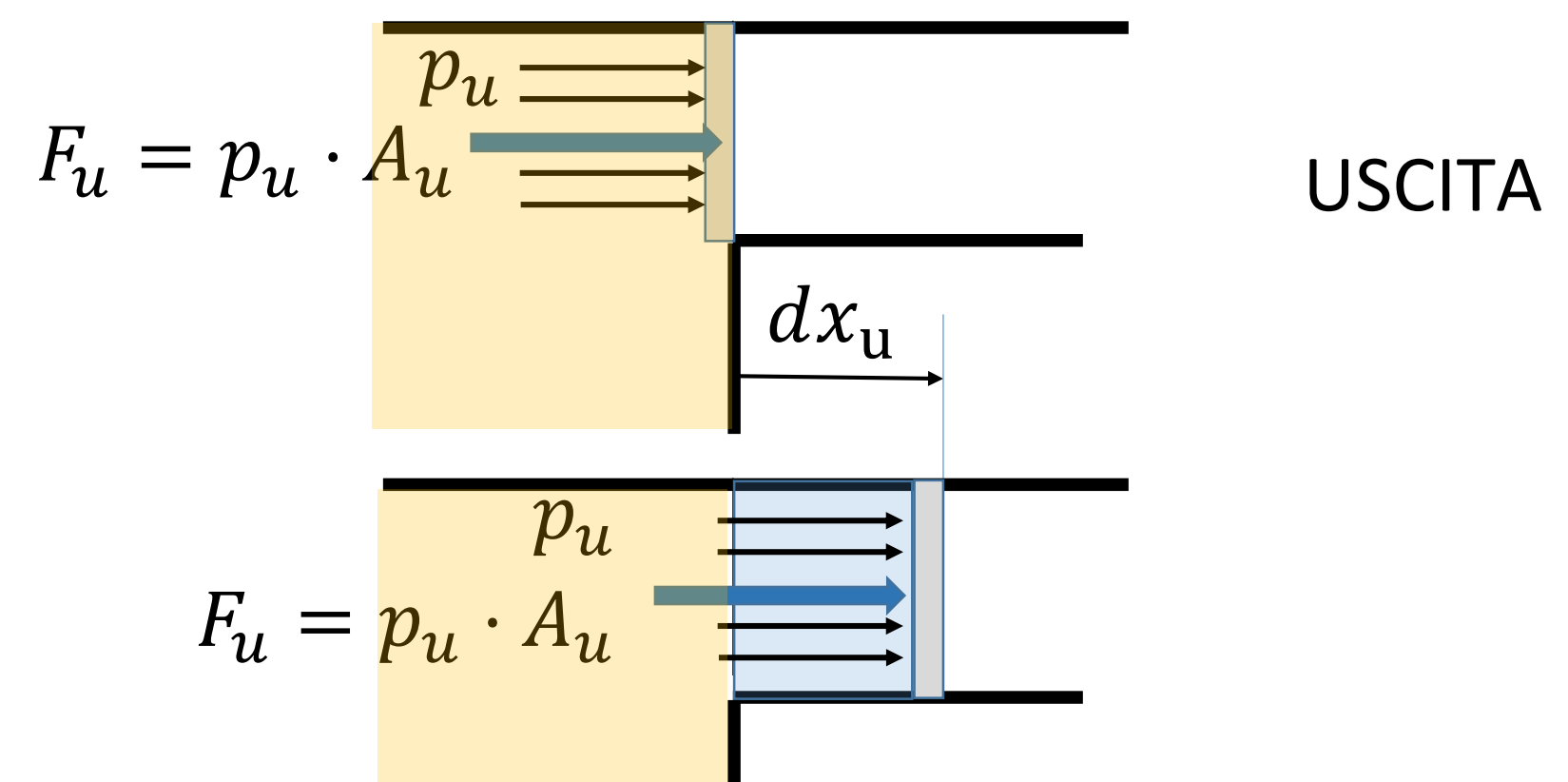
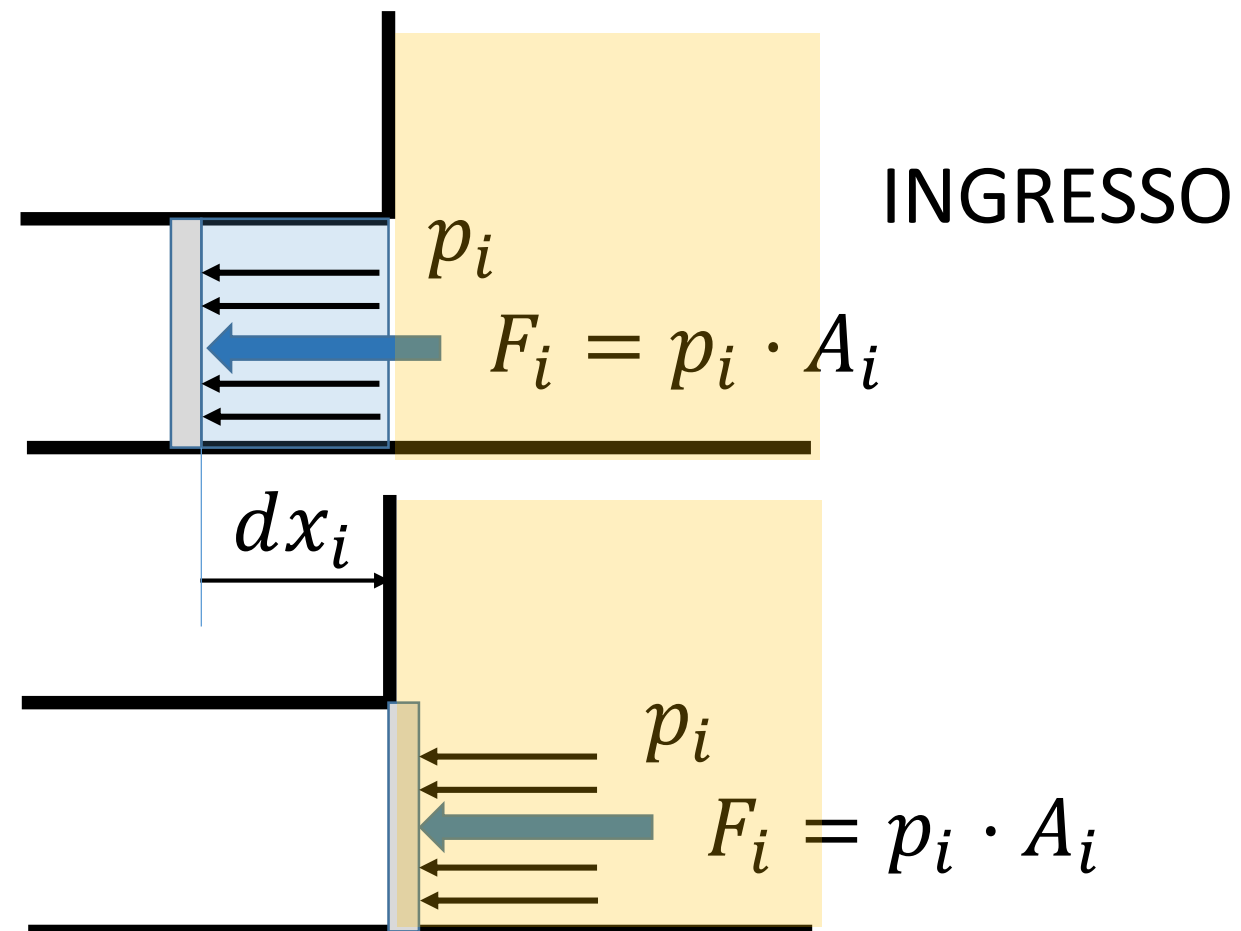
Conservazione dell'energia - 1

Bilancio energetico per volume di controllo



$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q} - \dot{L} + \dot{m}_i \left(u_i + \frac{w_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_u \left(u_u + \frac{w_u^2}{2} + gz_u \right)$$

Lavoro di pulsione



$$\delta L_i = -F_i \cdot dx_i = -p_i \cdot A_i \cdot dx_i = -p_i \cdot dV_i$$

$$\delta L_u = F_u \cdot dx_u = p_u \cdot A_u \cdot dx_u = p_u \cdot dV_u$$

$$\delta L_i = -p_i \cdot dm_i \cdot v_i$$

$$\delta L_u = p_u \cdot dm_u \cdot v_u$$

$$\dot{L}_i = \frac{\delta L_i}{dt} = -\frac{dm_i}{dt} \cdot p_i \cdot v_i = -\dot{m}_i \cdot p_i \cdot v_i$$

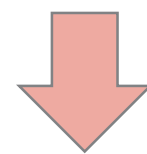
$$\dot{L}_u = \frac{\delta L_u}{dt} = \frac{dm_u}{dt} \cdot p_u \cdot v_u = \dot{m}_u \cdot p_u \cdot v_u$$

Conservazione dell'energia - 2

Calcolo del lavoro per un volume di controllo

$$\left[\begin{array}{l} \text{Potenza meccanica} \\ \text{dal volume di} \\ \text{controllo all'uscita } u \end{array} \right] = (p_u A_u) \cdot w_u$$

$$\dot{L} = \dot{L}_{vc} + (p_u A_u) w_u - (p_i A_i) w_i$$



$$\dot{L} = \dot{L}_{vc} + (p_u v_u) \dot{m}_u - (p_i v_i) \dot{m}_i$$

Prodotto $p v$ detto **lavoro di pulsione**
o **energia di pulsione**

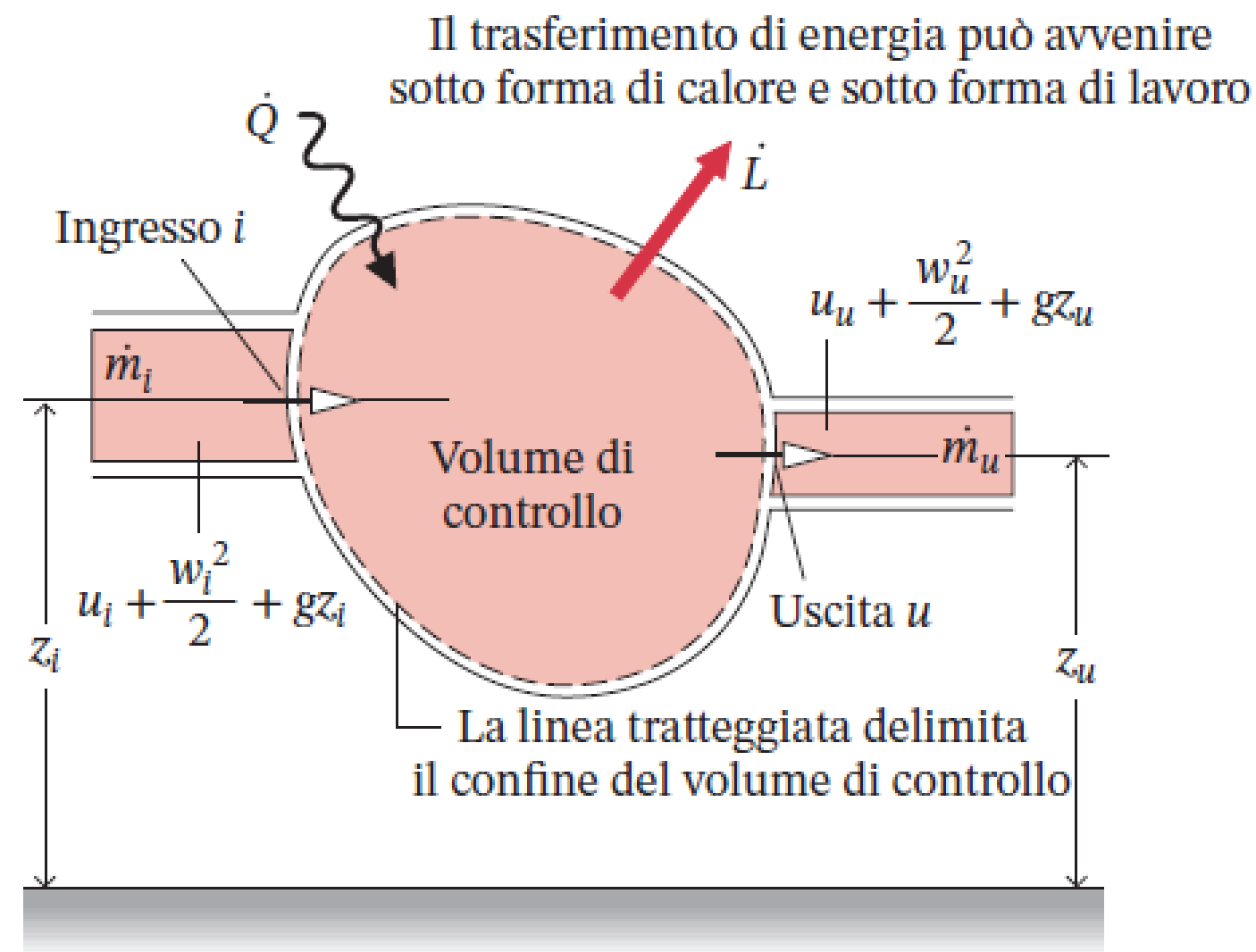
$$\dot{L} = \dot{L}_{VC} + \dot{L}_i + \dot{L}_u = \dot{L}_{VC} - \dot{m}_i \cdot p_i \cdot v_i + \dot{m}_u \cdot p_u \cdot v_u$$

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q} - \dot{L}_{VC} + \dot{m}_i \cdot p_i \cdot v_i + \dot{m}_u \cdot p_u \cdot v_u + \left(u_i + \frac{w_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_u \left(u_u + \frac{w_u^2}{2} + gz_u \right)$$

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q} - \dot{L}_{VC} + \left(\boxed{u_i + p_i \cdot v_i} + \frac{w_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_u \left(\boxed{u_u + p_u \cdot v_u} + \frac{w_u^2}{2} + gz_u \right)$$

Conservazione dell'energia - 3

Altra forma del bilancio energetico per volume di controllo



Attenzione alle fasi di **transitorio**.

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q}_{vc} - \dot{L}_{vc} + \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \frac{w_i^2}{2} + gz_i \right) - \sum_u \dot{m}_u \left(h_u + \frac{w_u^2}{2} + gz_u \right)$$

Analisi dei volumi di controllo in regime stazionario - 1

Formulazione dei bilanci di energia e massa in regime stazionario

Bilancio di massa

$$\sum_i \dot{m}_i = \sum_u \dot{m}_u$$

Bilancio di energia

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = 0$$

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{L}_{vc} + \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \frac{w_i^2}{2} + gz_i \right) - \sum_u \dot{m}_u \left(h_u + \frac{w_u^2}{2} + gz_u \right)$$

Analisi dei volumi di controllo in regime stazionario - 2

Volumi di controllo con un solo ingresso e una sola uscita

Bilancio di massa

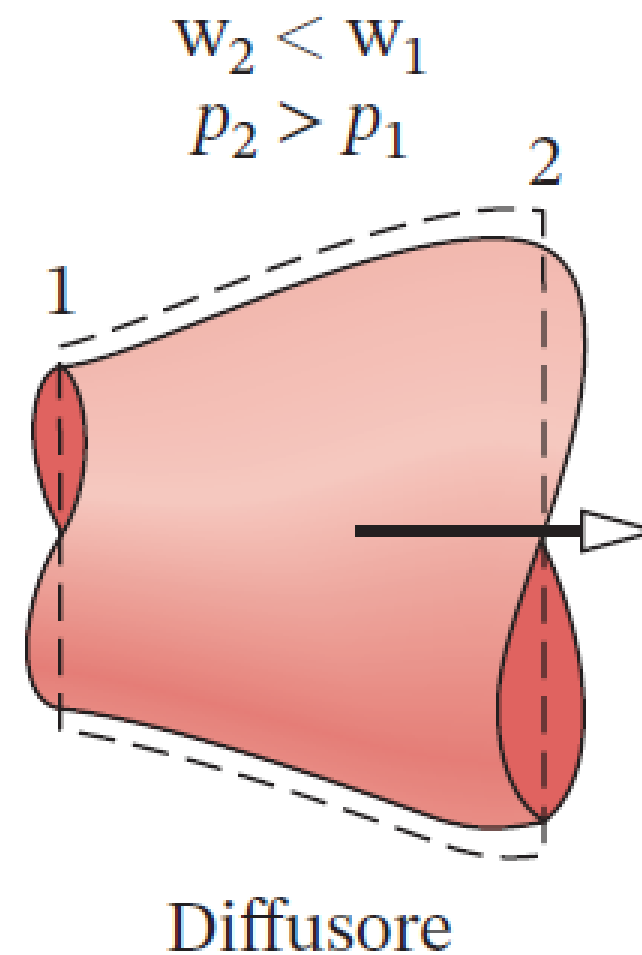
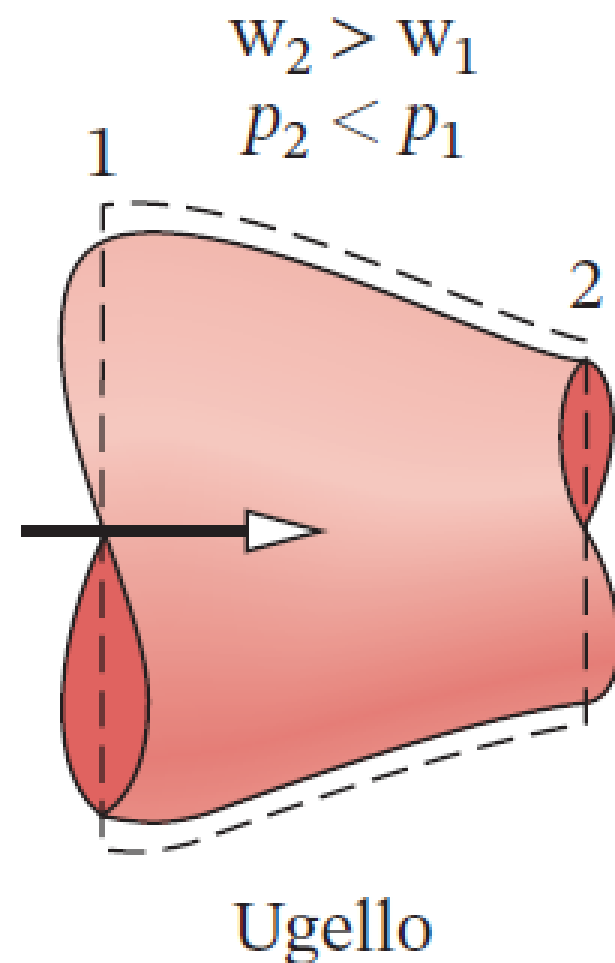
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

Bilancio di energia

$$0 = \frac{\dot{Q}_{vc}}{\dot{m}} - \frac{\dot{L}_{vc}}{\dot{m}} + (h_1 - h_2) + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + g(z_1 - z_2)$$

Analisi dei volumi di controllo in regime stazionario - 3

Ugelli e diffusori



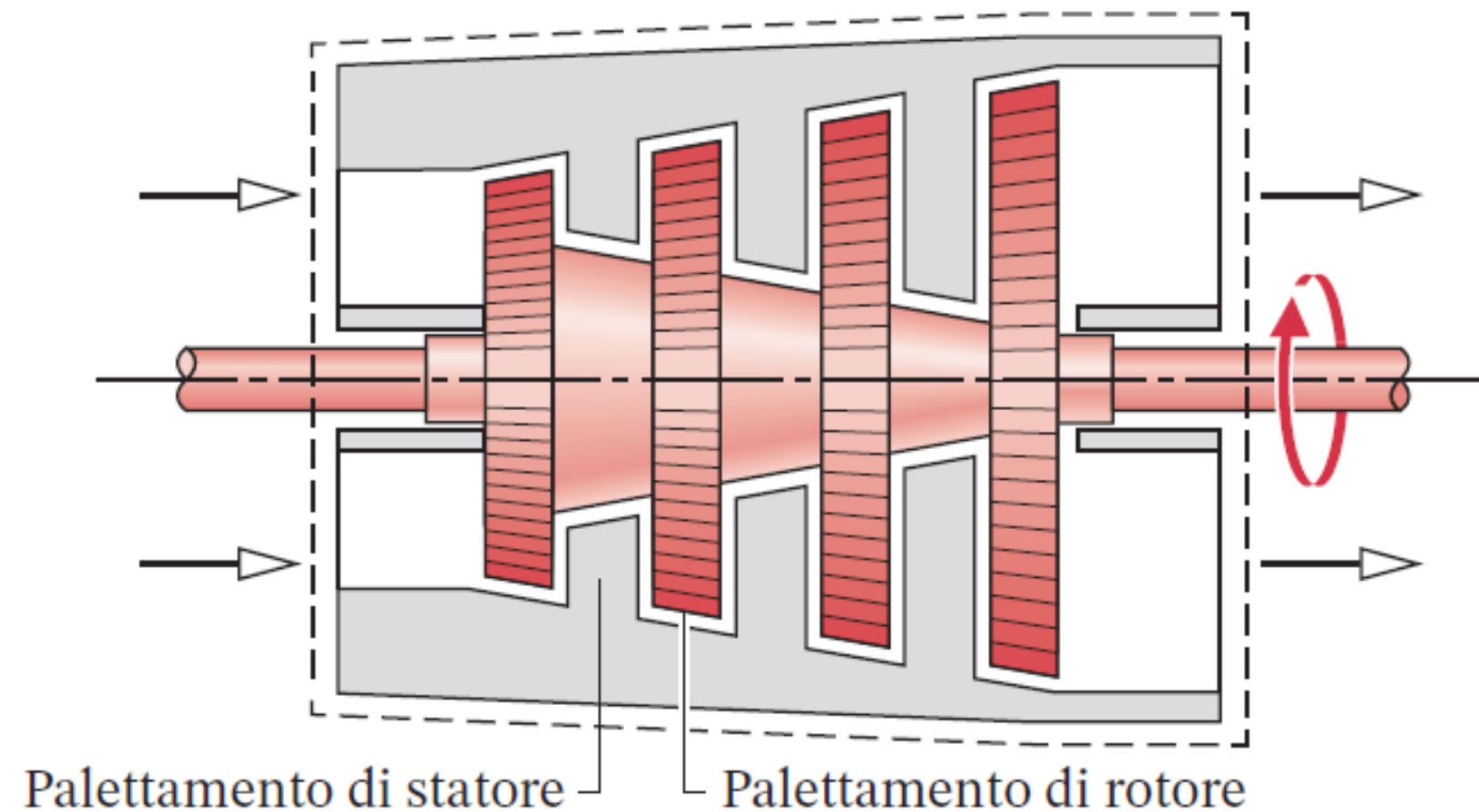
Assunzioni:
Stazionario
Lavoro nullo
Variazioni di quota trascurabili

↓

$$0 = \frac{\dot{Q}_{vc}}{\dot{m}} + (h_1 - h_2) + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2}$$

Analisi dei volumi di controllo in regime stazionario - 4

Turbine

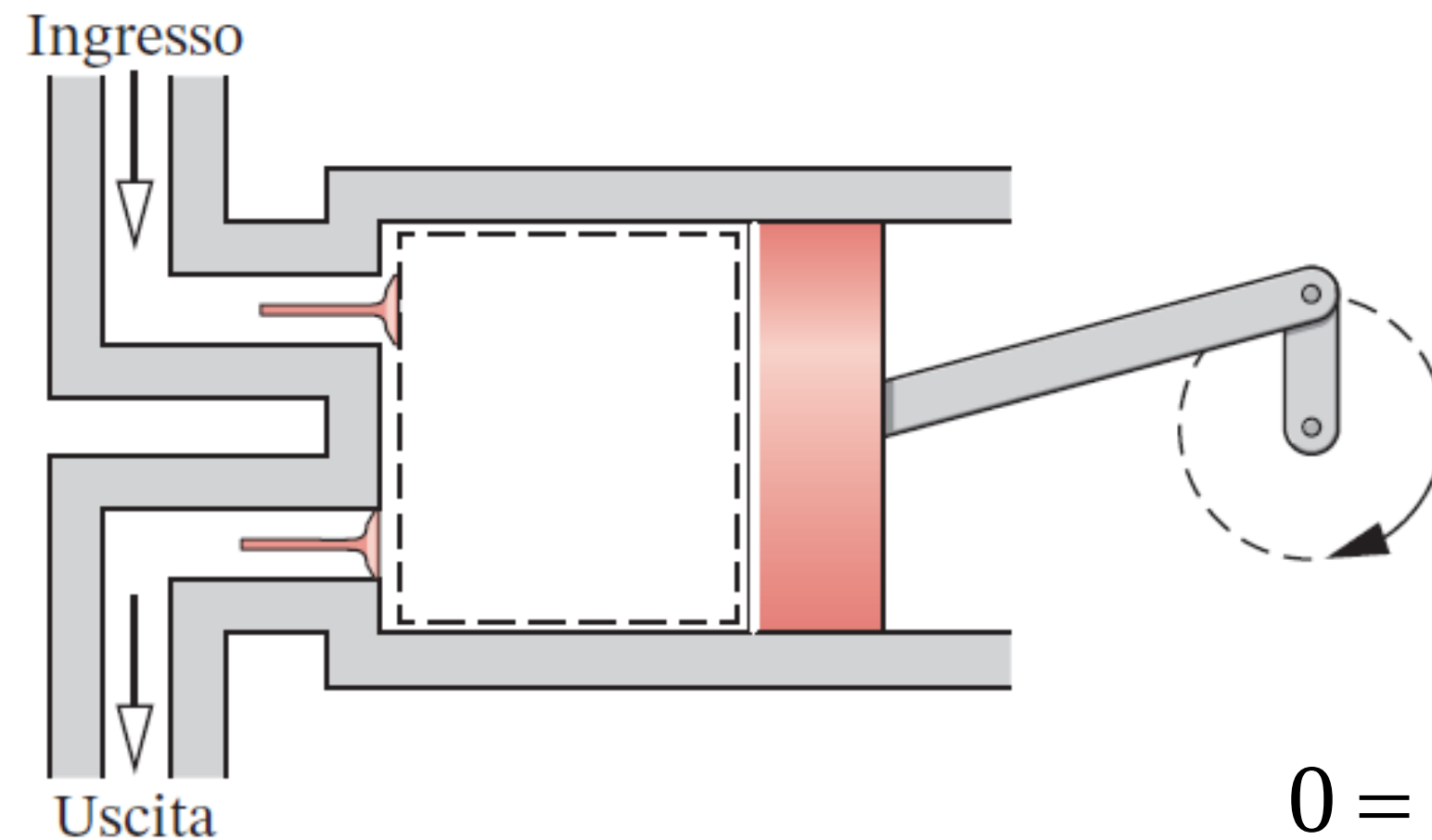


Assunzioni:
Stazionario
Variazioni di quota trascurabili

$$0 = \frac{\dot{Q}_{vc}}{\dot{m}} - \frac{\dot{L}_{vc}}{\dot{m}} + (h_1 - h_2) + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2}$$

Analisi dei volumi di controllo in regime stazionario - 5

Compressori e pompe

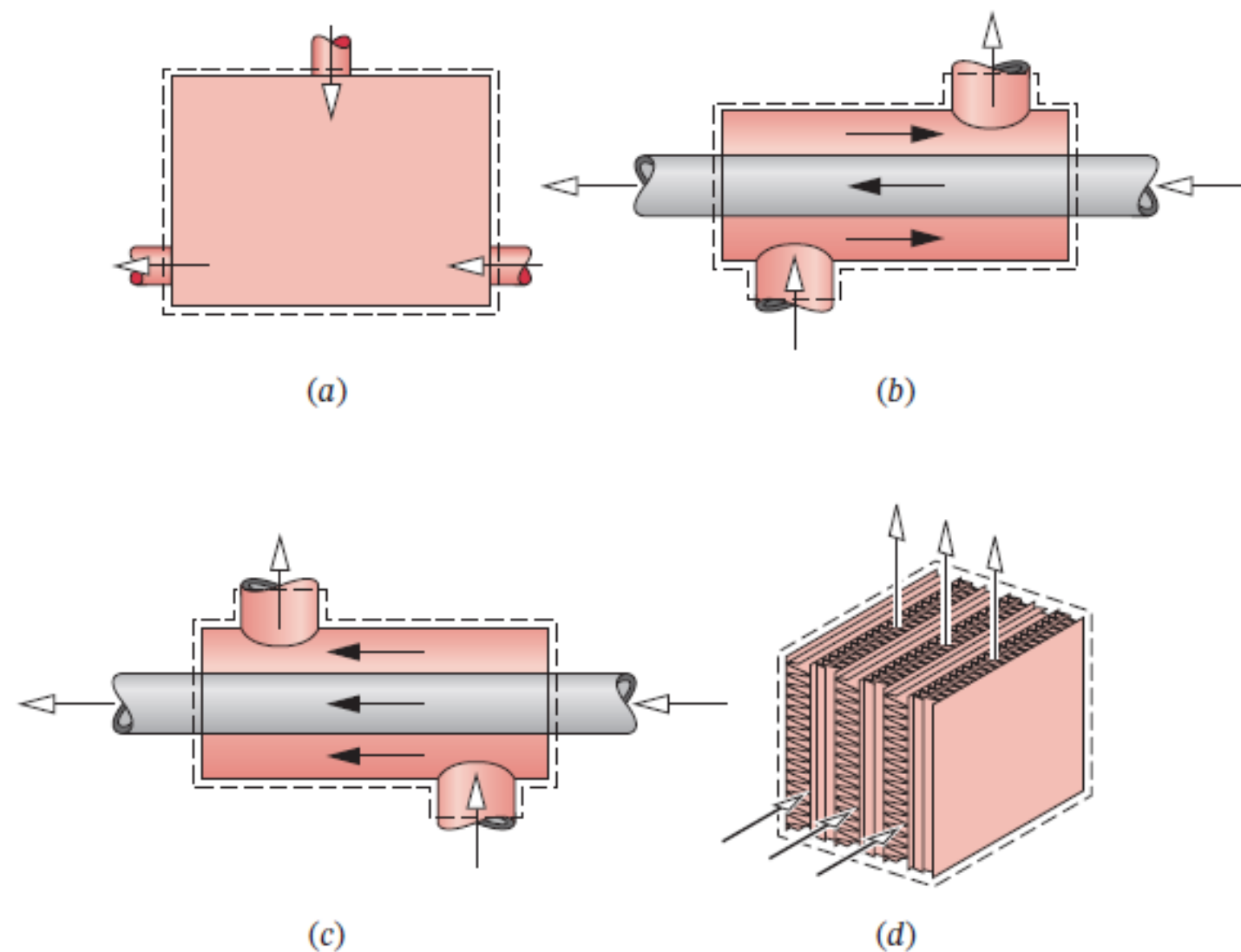


Assunzioni:
Stazionario

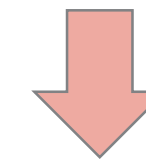
$$0 = \frac{\dot{Q}_{vc}}{\dot{m}} - \frac{\dot{L}_{vc}}{\dot{m}} + (h_1 - h_2) + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + g(z_1 - z_2)$$

Analisi dei volumi di controllo in regime stazionario - 6

Scambiatori di calore



Assunzioni:
Stazionario
Adiabatico
Lavoro nullo
Variazioni E_c ed E_p trascurabili



$$\dot{m}_A (h_u - h_i)_A = -\dot{m}_B (h_u - h_i)_B$$

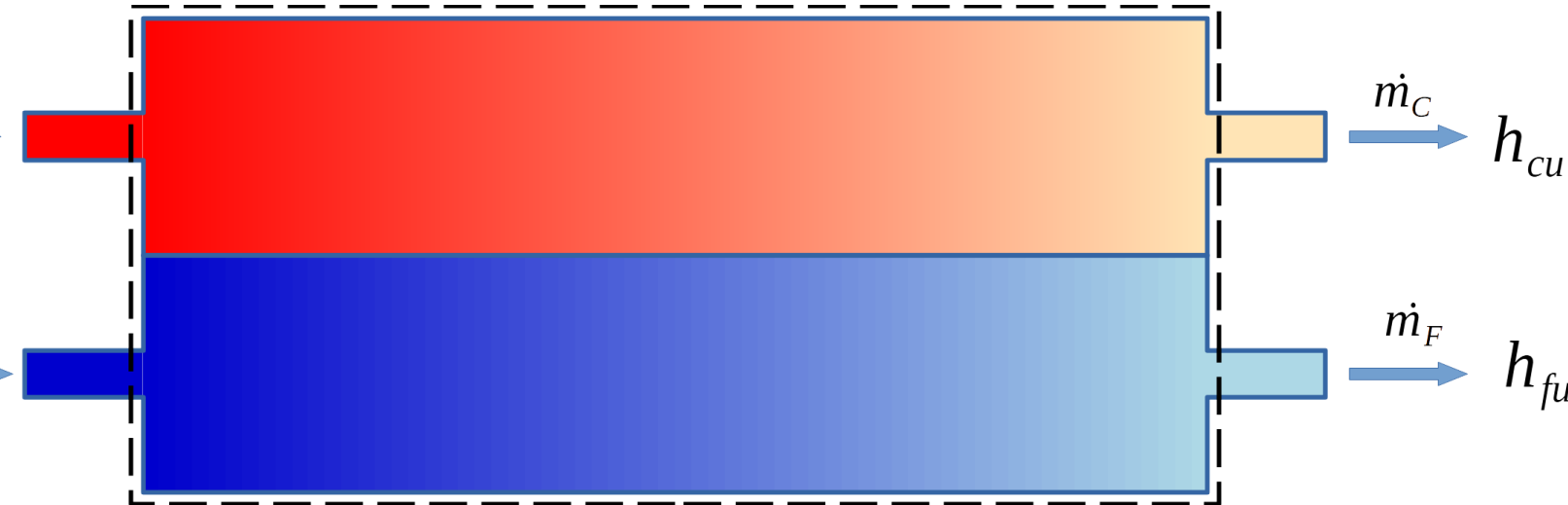
Fluido A Fluido B

Scambiatori di calore I

- Sistema con due ingressi e due uscite

$$0 = \cancel{\dot{Q}_{vc}} - \cancel{\dot{L}_{vc}} + \sum_i \dot{m}_i \left(\cancel{h_i} + \cancel{\frac{w_i^2}{2}} + \cancel{gz_i} \right) - \sum_u \dot{m}_u \left(\cancel{h_u} + \cancel{\frac{w_u^2}{2}} + \cancel{gz_u} \right)$$

$$0 = \dot{m}_c h_{ci} + \dot{m}_F \cdot h_{fi} - \dot{m}_c \cdot h_{cu} - \dot{m}_f \cdot h_{fu}$$

$$\dot{m}_c \cdot (h_{ci} - h_{cu}) = \dot{m}_F \cdot (h_{fu} - h_{fi})$$


Scambiatori di calore II

- Due sistemi ad una entrata e uscita

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{L}_{vc} + \cancel{\dot{m}_i \left(h_i + \frac{w_i^2}{2} + gz_i \right)} - \dot{m}_u \left(h_u + \cancel{\frac{w_u^2}{2}} + \cancel{gz_u} \right)$$

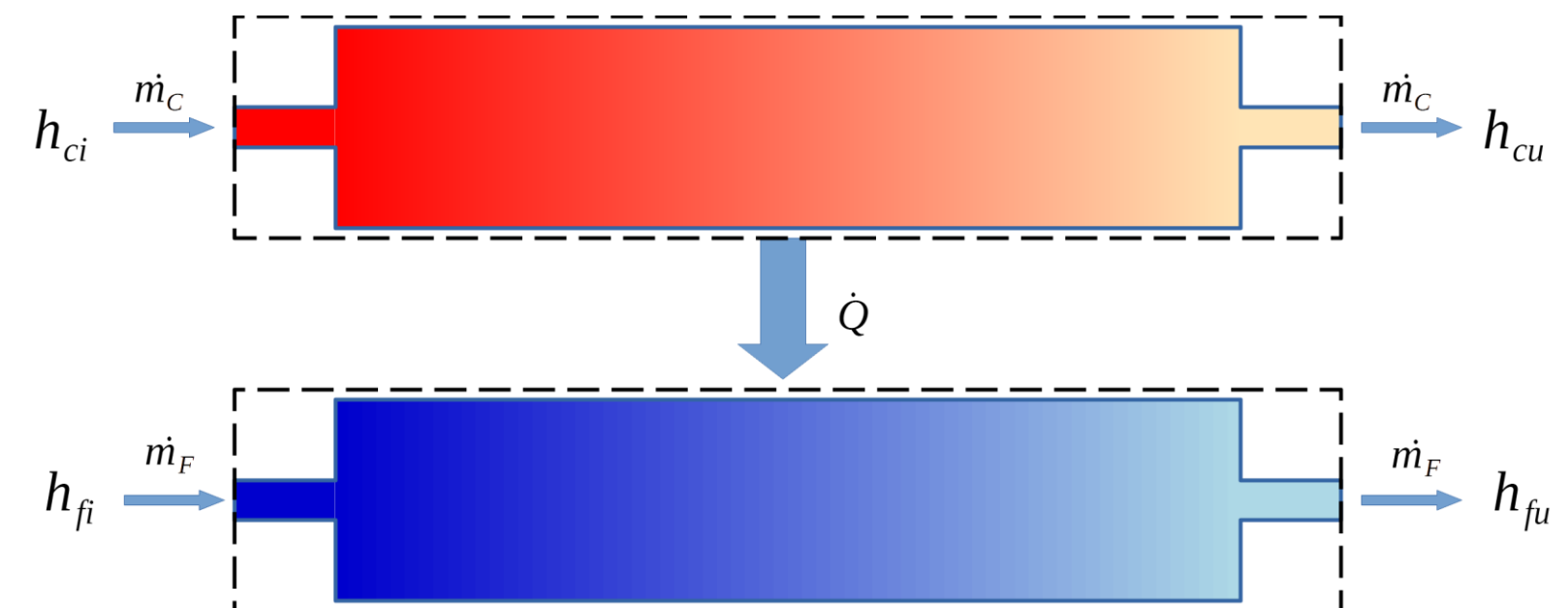
$$0 = \dot{Q}_C^- + \dot{m}_C h_{ci} - \dot{m}_C \cdot h_{cu}$$

$$\dot{m}_C \cdot (h_{ci} - h_{cu}) = -\dot{Q}_C^- = |\dot{Q}_C^-|$$

$$0 = \dot{Q}_F^+ + \dot{m}_F h_{Fi} - \dot{m}_F \cdot h_{Fu}$$

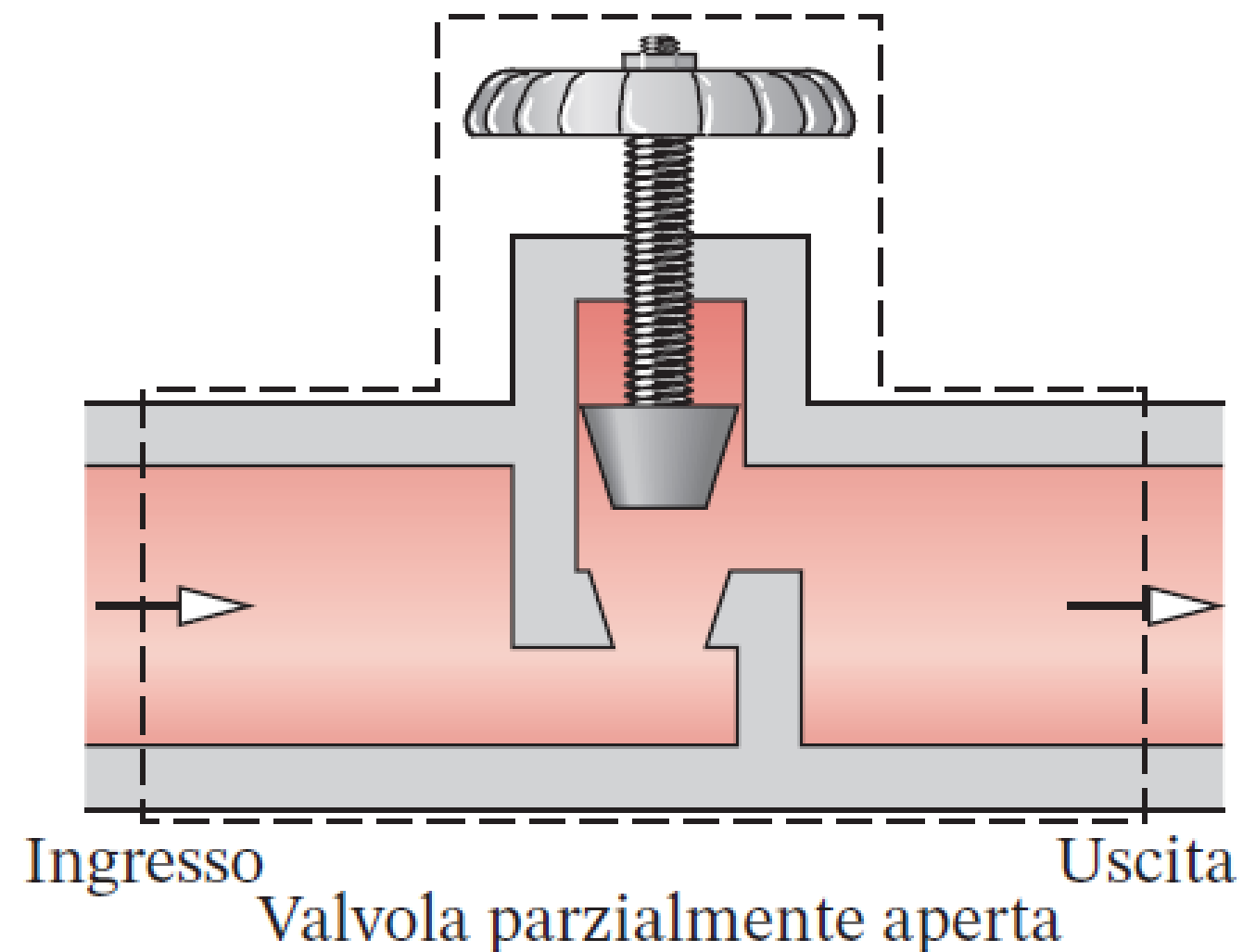
$$\dot{m}_F \cdot (h_{Fi} - h_{Fu}) = -\dot{Q}_F^+$$

$$\dot{m}_F \cdot (h_{Fu} - h_{Fi}) = \dot{Q}_F^+ \quad Q_F^+ = |Q_C^-| \quad \Rightarrow \quad \boxed{\dot{m}_C \cdot (h_{ci} - h_{cu}) = \dot{m}_F \cdot (h_{Fu} - h_{Fi})}$$

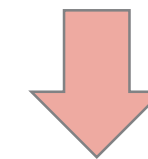


Analisi dei volumi di controllo in regime stazionario - 7

Organi di laminazione



Assunzioni:
Stazionario
Adiabatico
Lavoro nullo
Variazioni E_c ed E_p trascurabili



$$h_u = h_i$$