→ equazione di Bernoulli

$$\frac{P_1}{\rho} + g z_1 + \frac{\bar{v}_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + g z_2 + \frac{\bar{v}_2^2}{2}$$

→ valida in assenza di attrito

⇒ generalizzazione

→ effetto della non uniformità del campo di velocità (⇒ correzione energia cinetica)

→ presenza di pareti, con relative perdite per attrito viscoso

→ presenza di pompe che danno energia al fluido.

$$\frac{P_1}{\rho} + g z_1 + \alpha_1 \frac{\bar{v}_1^2}{2} + \eta w_p = \frac{P_2}{\rho} + g z_2 + \alpha_2 \frac{\bar{v}_2^2}{2} + h_f$$

$$\alpha = \frac{\int v^3 \, dS}{\bar{v}^3 S}$$

$\alpha \to 1$ per flussi turbolenti

$1.5 < \alpha < 2$

↳ rettangolare (1.54)

↳ circolare

h_f non si riferisce a proprietà locali, valide nelle sezioni 1 e 2

ma rappresenta delle perdite di energia meccanica tra le due sezioni

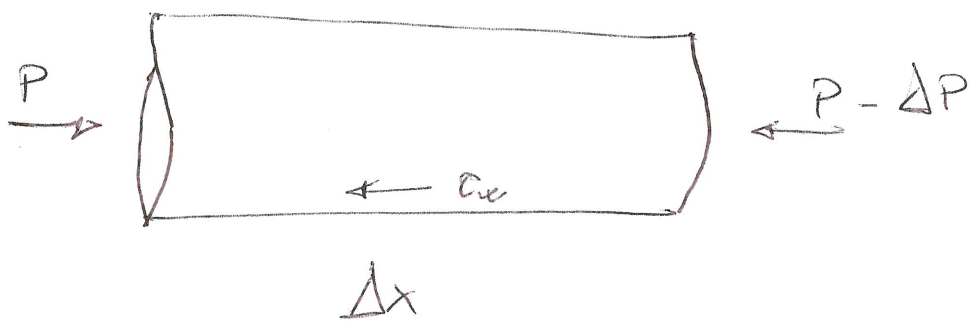
$h_f > 0$ ($h_f = 0$ solo in caso di flusso potenziale)

W_p = lavoro fatto da una pompa per unità di portata del fluido

($W_p < 0 \Rightarrow$ turbina, preleva energia dal fluido)

η = efficiente

Perdite di carico nella convezione forzata all'interno di tubi.



→ flusso stazionario in un tubo orizzontale e sezione circolare costante di raggio R

$$p_a = p$$

$$p_b = p - \Delta p$$

⇒ Bernoulli $\qquad \dfrac{\Delta p}{\rho} = h_f$

↳ perdite di carico divise per la densità

→ Bilancio di forze

$$\sum F = \pi R^2 p - \pi R^2 (p - \Delta p) - 2\pi R \Delta x \, \tau_w = 0$$

$$\frac{\Delta p}{\Delta x} = \frac{2 \tau_w}{R} = \frac{4 \tau_w}{D}$$

⇒ Lo sforzo di taglio alle pareti è noto se si conoscono le perdite di carico e viceversa.

$$\Rightarrow h_f = \frac{4}{\rho} \frac{\tau_w}{D} \Delta x$$

→ fattore di attrito f (Fanning)

RAPPORTO TRA LO SFORZO DI TAGLIO ALLE PARETI E L'ENERGIA CINETICA DEL FLUIDO

$$f = \frac{\tau_w}{\rho \bar{v}^2/2}$$

$$\Rightarrow h_f = 2 f \frac{L}{D} \bar{v}^2$$

⇒ lo sforzo di taglio alle pareti è proporzionale al numero di Reynolds

$$f = 16/Re \qquad Re < 2100$$

$$f = \frac{0.0791}{Re^{1/4}} \qquad Re > 3500$$

Perdite di carico localizzate

→ fattore di attrito localizzato k

$$h_f = k \frac{\bar{v}^2}{2}$$

→ velocità media della sezione a valle

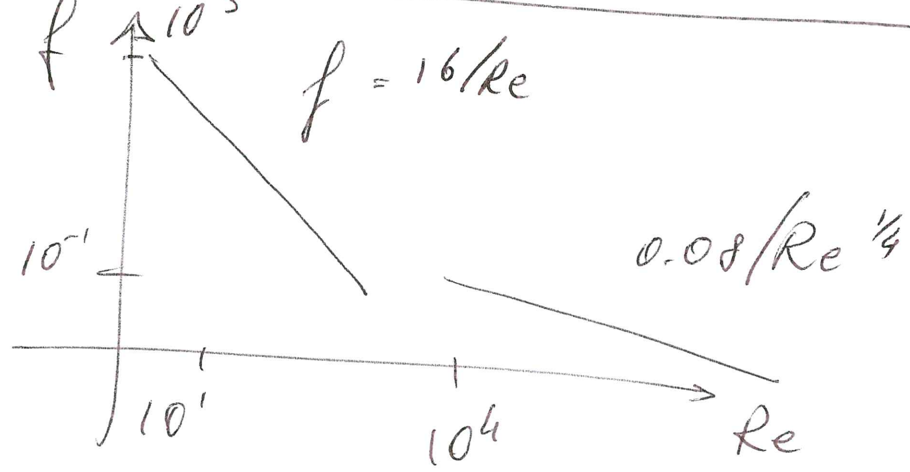
k

0.05 ingresso smussato in un tubo

$0.45\,(1-\beta)$ restringimento

$$\beta = \frac{\text{sezione piccola}}{\text{sezione grande}}$$

$$2.7\,\frac{(1-\beta)(1-\beta^2)}{\beta^2}$$ orifizio



Data una protesi fonatoria con diametro d ugello a 5.3 mm e lunghezza l pari a 20 mm, stimare le perdite di carico in assenza della valvola unidirezionale ed in caso di flusso d'aria pari a 0.33 l/s. Non si considerino eventuali variazioni di sezione.

Dati

$d = 5.3 \text{ mm} = 5.3 * 10^{-3} \text{ m}$

$l = 20 \text{ mm} = 20 * 10^{-3} \text{ m}$

$\text{Airflow} = 0.33 \text{ l/s} = 0.33 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Caratteristiche dell'aria

$\rho_{aria} = 1.2 \text{ kg/m}^3$

$\eta = 1.8 * 10^{-5} \text{ Pa-s}$

$$\text{Velocità media} = \bar{v} = \frac{\text{Airflow}}{\text{sezione}} = \frac{\text{Airflow}}{\frac{d^2}{4}\pi} =$$

$$= \frac{0.33 * 10^{-3}}{\frac{(5.3)^2}{4}\pi * 10^{-6}} \frac{m}{s} = \frac{0.33 * 10^{-3}}{22 * 10^{-6}} \frac{m}{s} = 15 \frac{m}{s}$$

$$\#\text{Mach} = \frac{15}{340} < 0.2 \Rightarrow \text{flusso incomprimibile}$$

$$Re = \frac{\rho \bar{v} l}{\mu} = \frac{1.2 * 15 * 5.3 * 10^{-3}}{1.8 * 10^{-5}} = 53 * 10^{2} = 5300$$

$$f = \frac{0.08}{\sqrt[4]{5300}} = \frac{0.08}{8.5} = 0.009$$

$$h_f = 2 f \frac{L}{d} \bar{v}^2 = 2 * 0.009 * \frac{20 * 10^{-3}}{5.3 * 10^{-3}} * 15^2 \frac{m^2}{s^2} =$$

$$= 15.3 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\rightarrow h_f = \frac{\Delta p}{\rho} \qquad \rightarrow \Delta p = 15.3 * 1.2 \quad \frac{\cancel{m^2}}{s^2} \cdot \frac{kg}{\cancel{m^3}}$$

$$= 18.3 \text{ Pa}$$