

An abstract graphic consisting of a dark blue 3D cube with a red sphere resting on its top surface. The cube is tilted, and the sphere is positioned slightly off-center towards the back-left corner of the top face.

Corso di Idraulica

Prof. A. Balzano

CORRENTI IN PRESSIONE 2

Perdite di carico localizzate

► Tratti di corrente non lineare (non gradualm. variata)

- Linee piezometrica e carichi totali non definibili
- Distacchi di vena
- Breve sviluppo
- Perdite localizzate: $\Delta H = H_m - H_v = \eta \frac{U_v^2}{2g}$

► Perdita per brusco allargamento (Borda)

$$(\vec{I} + \vec{M}) \cdot \vec{i}_s = (\vec{G} + \vec{\Pi}_p + \vec{\Pi}_\mu + \vec{\Pi}_R) \cdot \vec{i}_s$$

$$- \vec{I} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{V_c} \rho \vec{u} dV$$

$$- \vec{\Pi}_p = \int_{S_c} -p \vec{n} dS$$

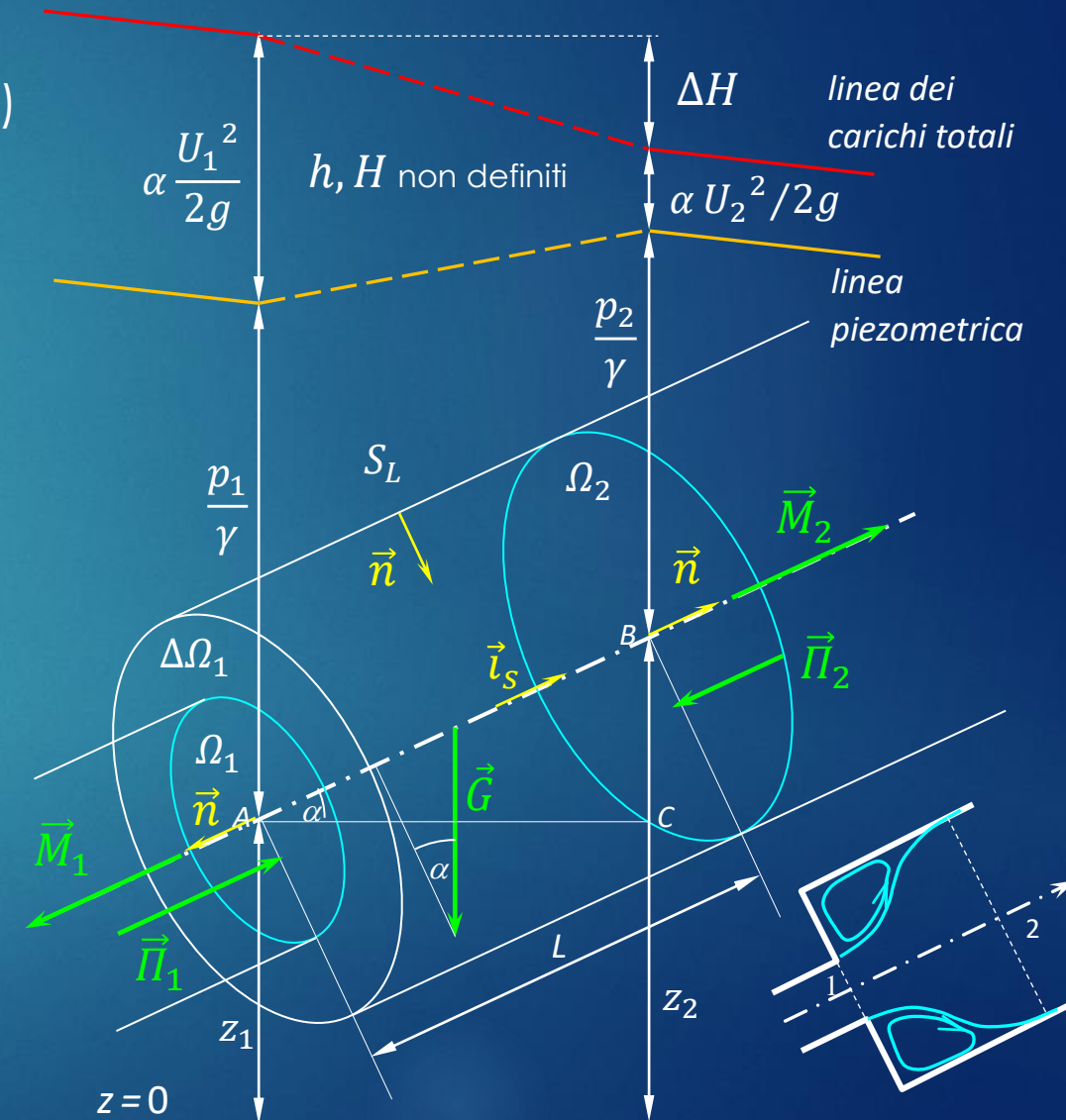
$$- \vec{M} = \int_{S_c} \rho \vec{u} \vec{u} \cdot \vec{n} dS$$

$$- \vec{\Pi}_\mu = \mu \int_{S_c} \frac{\partial \vec{u}}{\partial n} dS$$

$$- \vec{G} = \int_{V_m} \rho \vec{f}_m dV$$

$$- \vec{\Pi}_R = - \int_{S_c} \rho \overline{\vec{u}' \vec{u}'} \cdot \vec{n} dS$$

✓ In integrali di superficie $S_c = \Omega_1 \cup \Delta\Omega_1 \cup \Omega_2 \cup S_L$

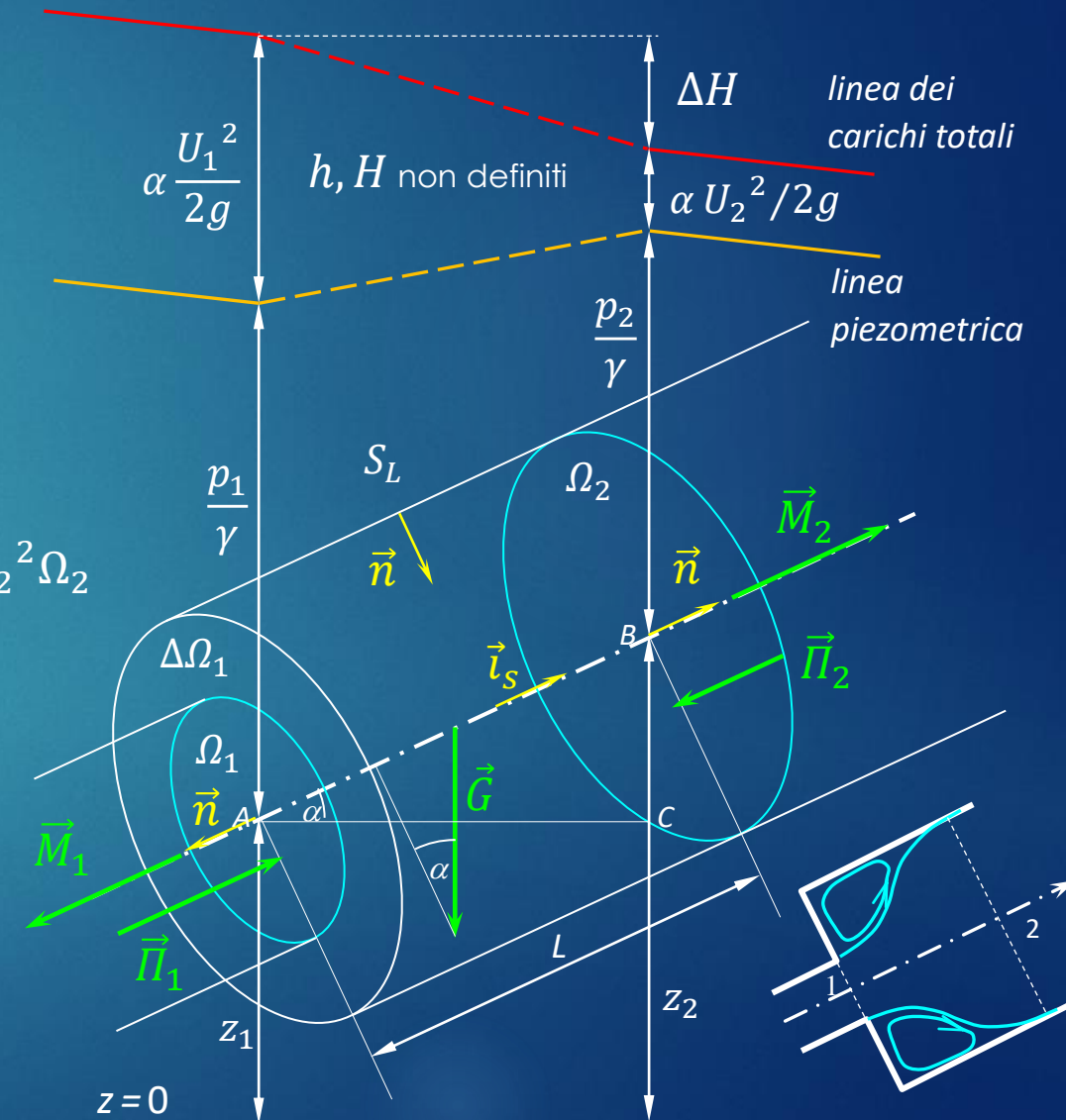


Perdite di carico localizzate

► Perdita per brusco allargamento (Borda)

$$(\vec{I} + \vec{M}) \cdot \vec{i}_s = (\vec{G} + \vec{\Pi}_p + \vec{\Pi}_\mu + \vec{\Pi}_R) \cdot \vec{i}_s$$

- $\vec{I} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{V_c} \rho \vec{u} dV = 0$ perché moto stazionario
- $\vec{M} \cdot \vec{i}_s = \left(\int_{\Omega_1} \rho \vec{u} \vec{u} \cdot \vec{n} d\Omega + \int_{\Omega_2} \rho \vec{u} \vec{u} \cdot \vec{n} d\Omega \right) \cdot \vec{i}_s =$
 $= -\rho \int_{\Omega_1} u^2 d\Omega + \rho \int_{\Omega_2} u^2 d\Omega = -\rho \beta U_1^2 \Omega_1 + \rho \beta U_2^2 \Omega_2$
 - $\beta = \frac{\int_{\Omega} u^2 d\Omega}{U^2 \Omega} \cong 1$ per regime turbolento
 - ✓ $\int_{\Delta\Omega_1} \rho \vec{u} \vec{u} \cdot \vec{n} d\Omega = \int_{S_L} \rho \vec{u} \vec{u} \cdot \vec{n} d\Omega = 0$ (pareti)
- $\vec{G} \cdot \vec{i}_s = -\gamma V \sin \alpha = -\gamma \Omega_2 L \sin \alpha = -\gamma \Omega_2 (z_2 - z_1)$
 - ✓ α è l'angolo che l'asse forma con l'orizzontale



Perdite di carico localizzate

► Perdita per brusco allargamento (Borda)

$$(\vec{I} + \vec{M}) \cdot \vec{i}_s = (\vec{G} + \vec{\Pi}_p + \vec{\Pi}_\mu + \vec{\Pi}_R) \cdot \vec{i}_s$$

$$\bullet \vec{\Pi}_p \cdot \vec{i}_s = \left(\int_{\Omega_1 + \Delta\Omega_1} -p\vec{n}d\Omega + \int_{\Omega_2} -p\vec{n}d\Omega + \int_{S_L} -p\vec{n}dS \right) \cdot \vec{i}_s$$

$$- \vec{i}_s \cdot \int_{S_L} -p\vec{n}dS = 0 \quad \text{forze di pressione normali all'asse}$$

$$- \left(\int_{\Omega_1 + \Delta\Omega_1} -p\vec{n}d\Omega + \int_{\Omega_2} -p\vec{n}d\Omega \right) \cdot \vec{i}_s = (p_{G1} - p_{G2})\Omega_2$$

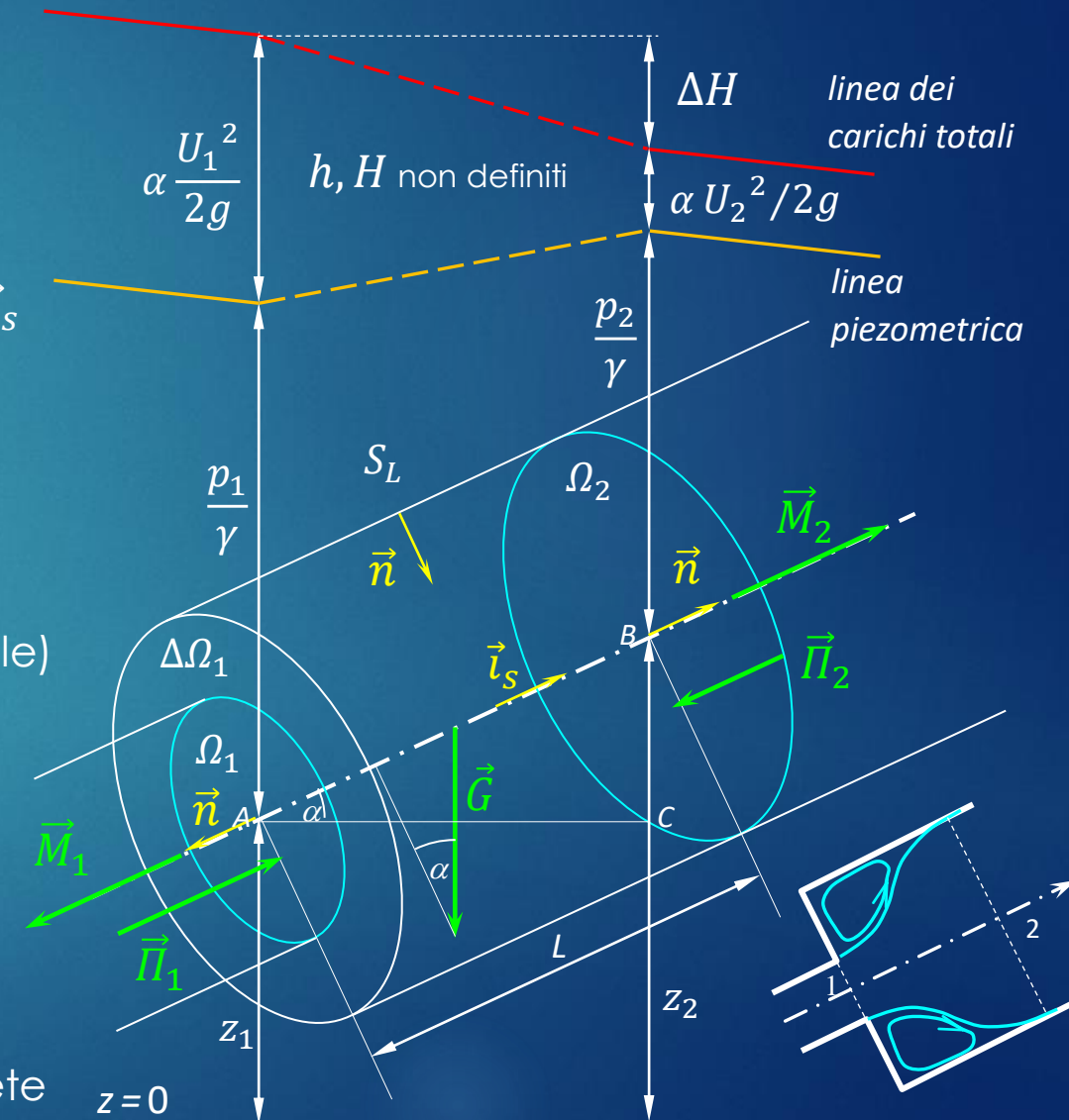
✓ $h = \text{cost}$ su intera sezione $\Omega_1 \cup \Delta\Omega_1$ (sperimentale)

$$\bullet \vec{\Pi}_\mu \cdot \vec{i}_s \cong 0$$

$$- \mu \int_{\Omega_1} \frac{\partial \vec{u}}{\partial n} d\Omega = \mu \int_{\Omega_2} \frac{\partial \vec{u}}{\partial n} d\Omega = 0 \quad \text{perché } \frac{\partial \vec{u}}{\partial n} = \pm \frac{\partial \vec{u}}{\partial s} = 0$$

$$- \left(\mu \int_{S_L} \frac{\partial \vec{u}}{\partial n} dS \right) \cdot \vec{i}_s \cong 0 \quad \text{per limitato sviluppo in asse}$$

$$- \left(\mu \int_{\Delta\Omega_1} \frac{\partial \vec{u}}{\partial n} dS \right) \cdot \vec{i}_s \cong 0 \quad \text{per limitato sviluppo e } \vec{u} \parallel \text{parete}$$



Perdite di carico localizzate

► Perdita per brusco allargamento (Borda)

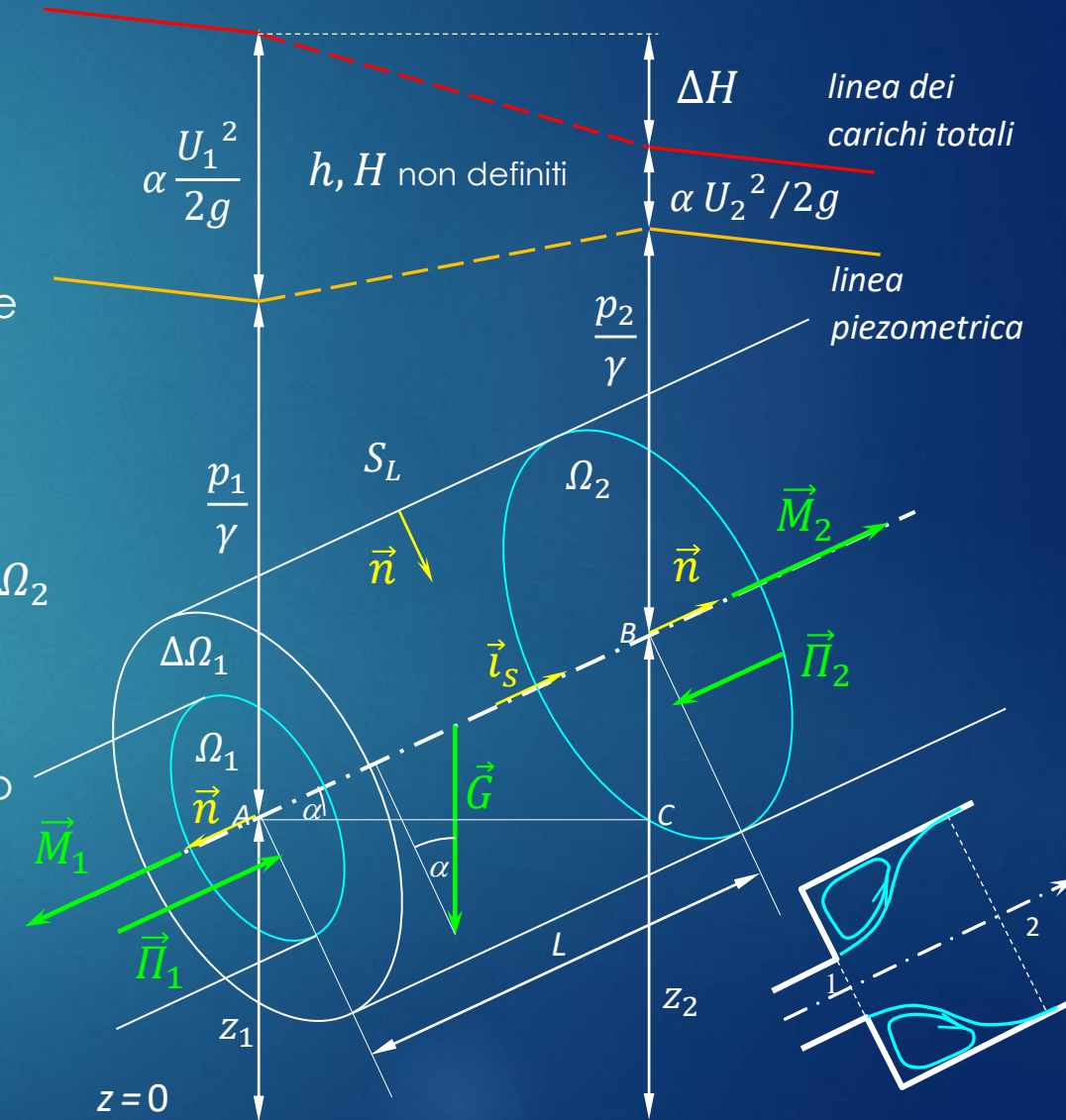
$$(\vec{I} + \vec{M}) \cdot \vec{i}_s = (\vec{G} + \vec{\Pi}_p + \vec{\Pi}_\mu + \vec{\Pi}_R) \cdot \vec{i}_s$$

- $\vec{\Pi}_R = - \int_{S_c} \rho \overline{\vec{u}' \vec{u}'} \cdot \vec{n} \, dS \cong 0$ nulli alle pareti, $\cong 0$ altrove
- Raccogliendo i termini, posto $\beta = 1$

$$-\rho U_1^2 \Omega_1 + \rho U_2^2 \Omega_2 = -\gamma \Omega_2 (z_2 - z_1) + (p_{G1} - p_{G2}) \Omega_2$$
- Dividendo m. a m. per $\gamma \Omega_2$ e utilizzando $Q = U_1 \Omega_1 = U_2 \Omega_2$

$$-\frac{1}{g} U_1^2 \frac{\Omega_2}{\Omega_1} + \frac{1}{g} U_2^2 = z_1 - z_2 + \frac{p_{G1}}{\gamma} - \frac{p_{G2}}{\gamma} = h_1 - h_2 < 0$$
- ✓ Guadagno di quota piez. oltre il brusco allargamento
- Perdita di carico totale

$$\begin{aligned} \Delta H &= h_1 + \frac{U_1^2}{2g} - \left(h_2 + \frac{U_2^2}{2g} \right) = \frac{U_1^2}{2g} - \frac{U_2^2}{2g} - \frac{U_2^2}{g} \frac{\Omega_2}{\Omega_1} + \frac{U_2^2}{g} = \\ &= \left[\left(\frac{\Omega_2}{\Omega_1} \right)^2 - 1 - 2 \frac{\Omega_2}{\Omega_1} + 2 \right] \frac{U_2^2}{2g} = \left(\frac{\Omega_2}{\Omega_1} - 1 \right)^2 \frac{U_2^2}{2g} \end{aligned}$$



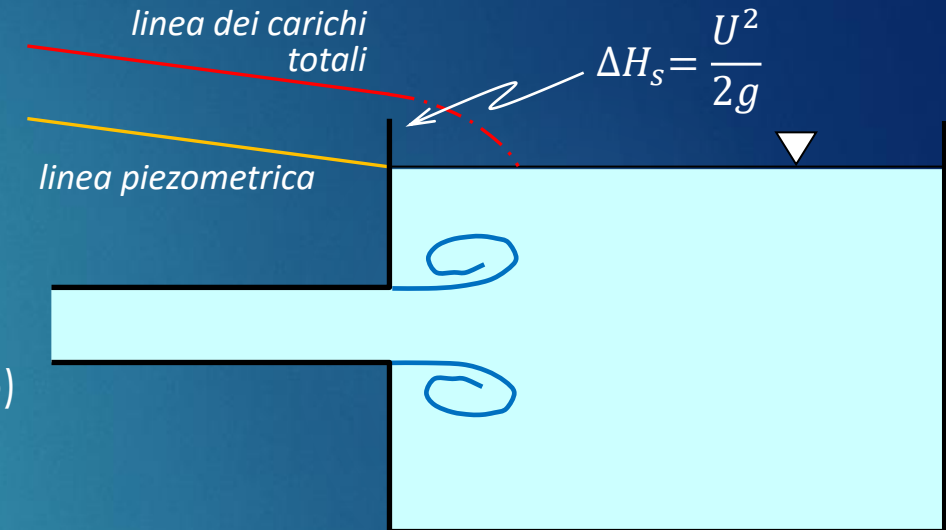
Perdite di carico localizzate

► Perdita per brusco allargamento (Borda)

$$\Delta H = \left(\frac{\Omega_2}{\Omega_1} - 1 \right)^2 \frac{U_2^2}{2g} = \frac{(U_1 - U_2)^2}{2g} \quad \text{usando } Q = U_1 \Omega_1 = U_2 \Omega_2$$

- Caso limite: perdita di sbocco ($\Omega_2 \rightarrow \infty$; $U_2 \rightarrow 0$)

$$\Delta H = \frac{U_1^2}{2g} \quad (\text{perdita dell'intera energia cinetica allo sbocco})$$

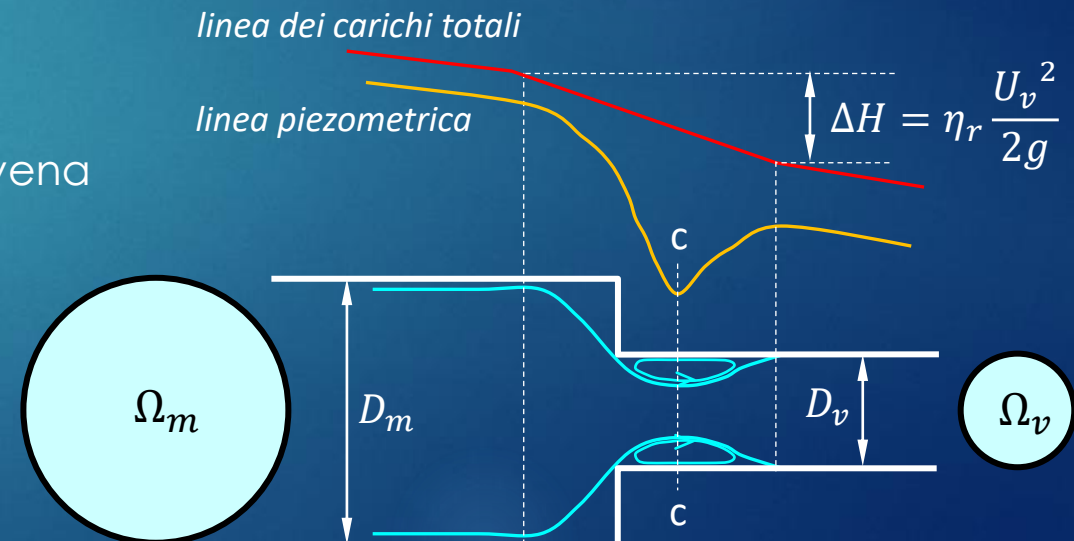


► Perdita per brusco restringimento

- Distacco di vena e formazione di sezione contratta
- Perdite viscose ΔH_1 fino a sezione contratta
- Perdita di Borda ΔH_2 da sezione contratta a riattacco vena

$$\Delta H = \eta_r \frac{U_v^2}{2g} = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad ; \quad \eta_r \text{ e } C_c \text{ funzione di } \frac{\Omega_v}{\Omega_m}$$

Ω_v/Ω_m	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
C_c	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.813	1.0
η_r	0.47	0.44	0.40	0.35	0.28	0.21	0.10	0.0



Perdite di carico localizzate

► Perdita per brusco restringimento

$$\Delta H = \eta_r \frac{U_v^2}{2g} \quad ; \quad \eta_r \text{ e } C_c \text{ funzione di } \frac{\Omega_v}{\Omega_m}$$

Ω_v/Ω_m	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
C_c	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.813	1.0
η_r	0.47	0.44	0.40	0.35	0.28	0.21	0.10	0.0

- Caso limite: perdita di imbocco ($\Omega_v/\Omega_m \rightarrow 0$)

$$\Delta H_1 = (1 - C_v^2) \frac{U_c^2}{2g} = (1 - C_v^2) \frac{(\Omega U / \Omega_c)^2}{2g} = \frac{1 - C_v^2}{C_c^2} \frac{U^2}{2g}$$

$$\Delta H_2 = \left(\frac{\Omega}{\Omega_c} - 1 \right)^2 \frac{U^2}{2g} = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \frac{U^2}{2g}$$

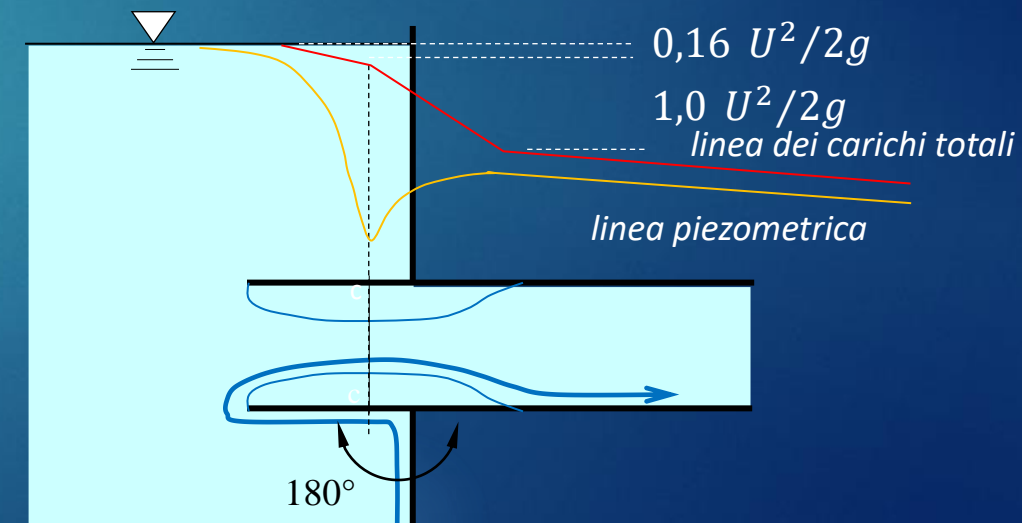
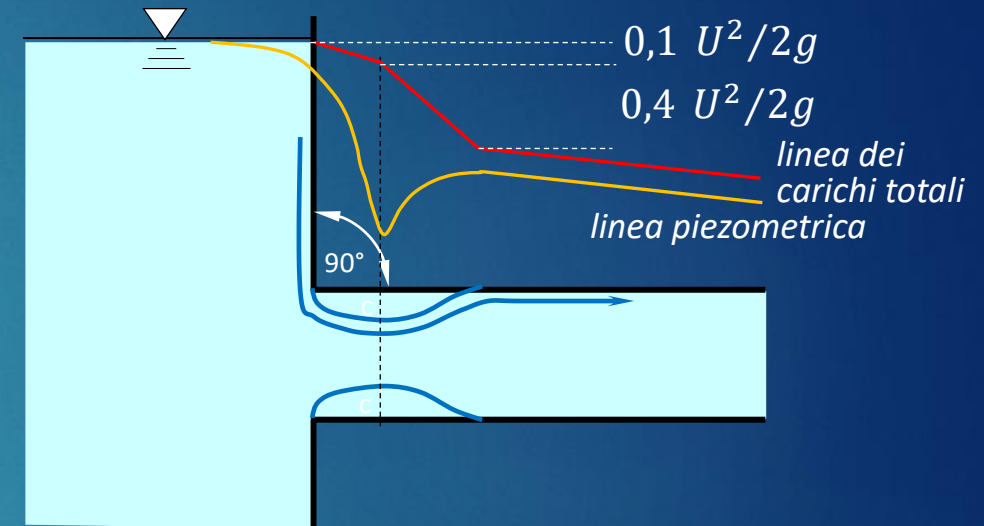
- Imbocco a spigolo vivo:

$$\Delta\alpha = 90^\circ \quad ; \quad C_c = 0,61 \quad ; \quad \eta_r = 0,5 \quad (0,1 + 0,4)$$

- Imbocco con tubo aggiuntivo interno:

$$\Delta\alpha = 180^\circ \quad ; \quad C_c = 0,5 \quad ; \quad \eta_r = 1,16 \quad (1,0 + 0,16)$$

- Imbocco ben raccordato: $\eta_r = 0,05 \div 0,1$

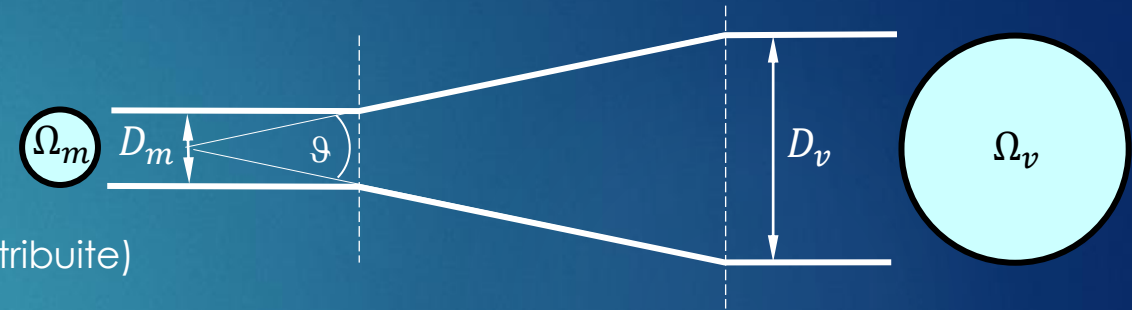




Perdite di carico localizzate

► Perdita in divergente (formula di Gibson)

$$\Delta H = K_{\vartheta} \left(\frac{\Omega_v}{\Omega_m} - 1 \right)^2 \frac{U_v^2}{2g} \quad ; \quad K_{\vartheta} \text{ funzione di } \frac{\Omega_m}{\Omega_v} \text{ e } \vartheta$$



✓ $K_{\vartheta_{max}} > 1$ perché formula include perdite totali (incluse distribuite)

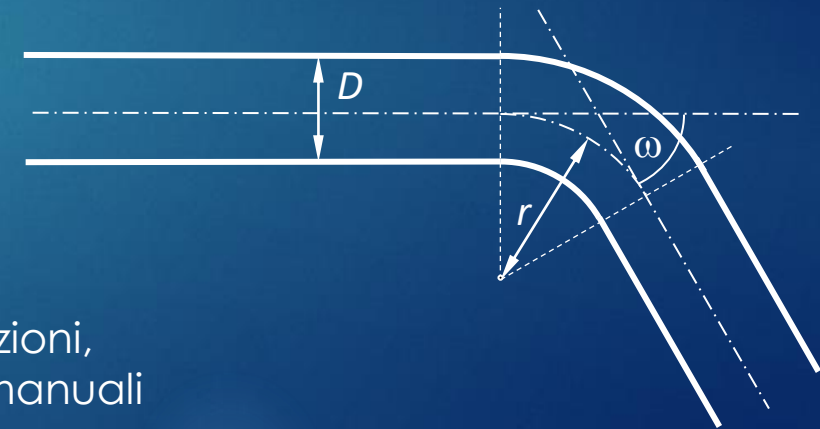
✓ $K_{\vartheta_{min}}$ per $\vartheta = 6^\circ \div 7^\circ$

ϑ	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	120°	180°	Ω_m/Ω_v
K_{ϑ}	0,20	0,40	0,70	0,95	1,10	1,20	1,20	1,16	1,12	1,05	1,00	1/2
			0,65	0,80	0,95	1,00	1,05	1,05	1,05	1,05	1,00	1/10

► Perdita in curva

$$\Delta H = \eta_c \frac{U^2}{2g} \quad \eta_c \text{ funzione di } \omega \text{ e } D/r$$

- ω angolo di deviazione
- r raggio di curvatura asse della curva



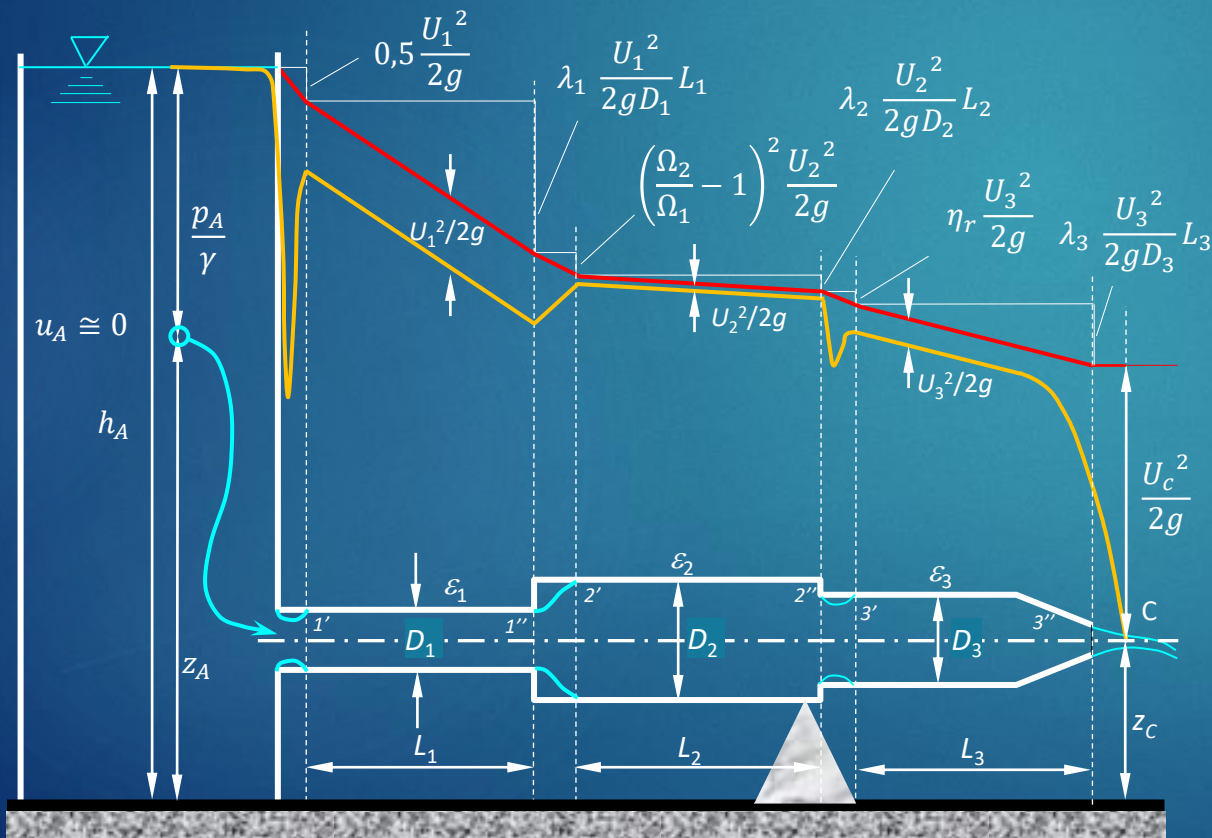
► Altri tipi di perdite localizzate

espressioni di perdite di carico localizzate di varia natura (gomiti, giunzioni, valvole di vario tipo, saracinesche, etc..) possono essere reperite nei manuali

Analisi funzionamento condotta

- Eq. caratteristica della condotta: **differenza carichi totali agli estremi = somma perdite di carico**

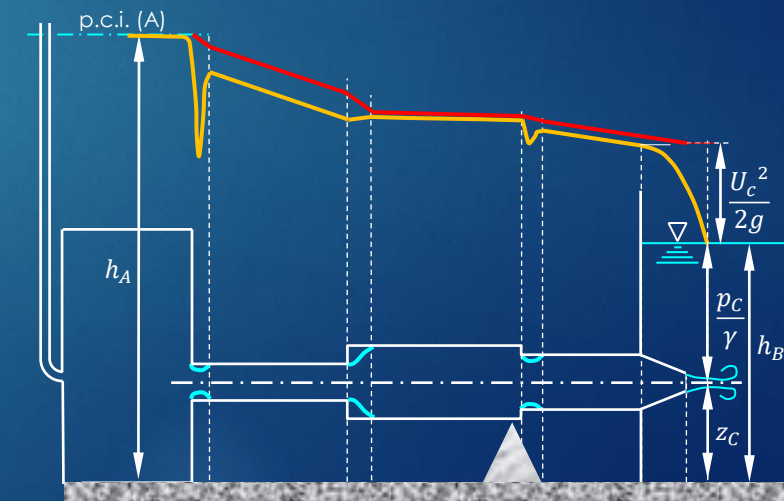
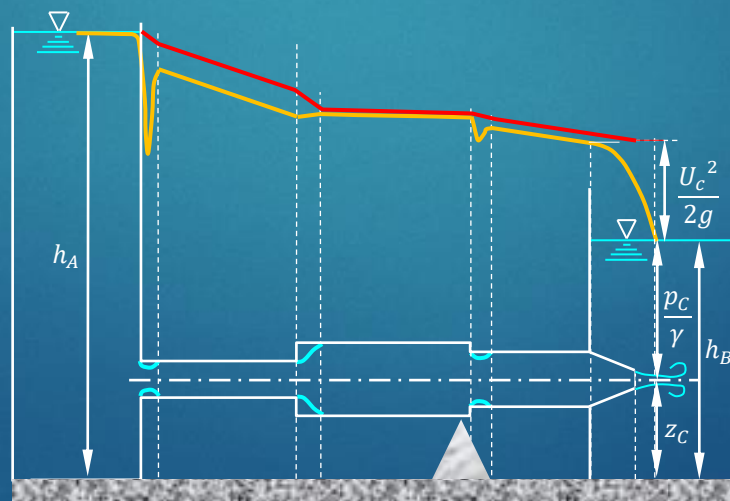
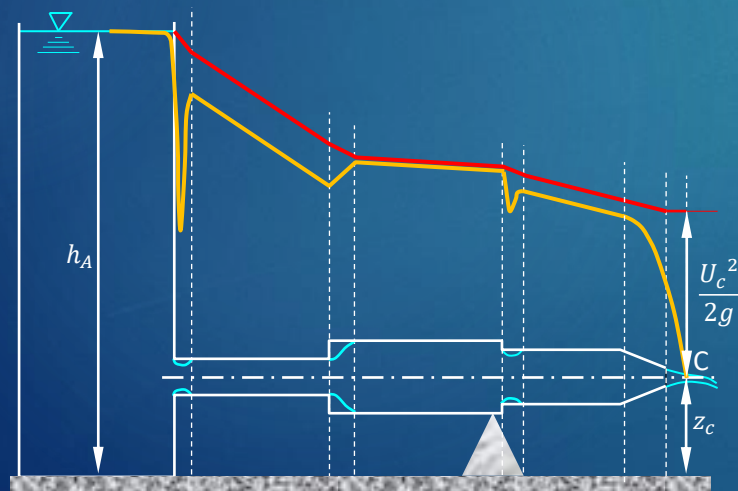
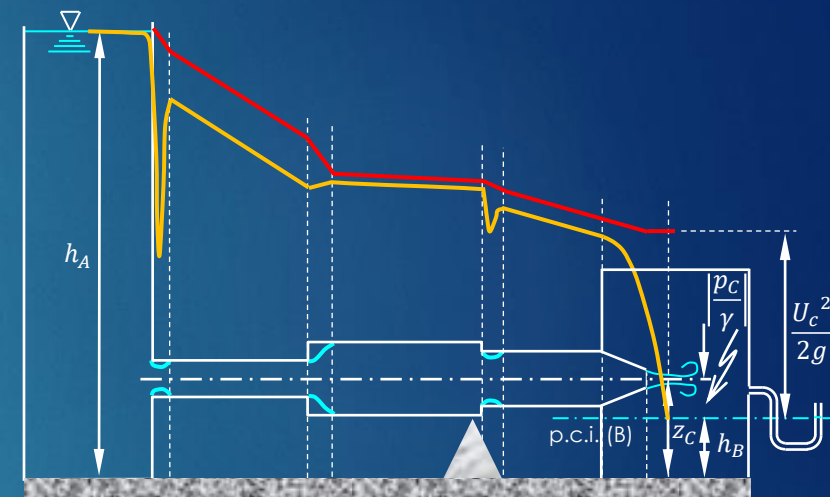
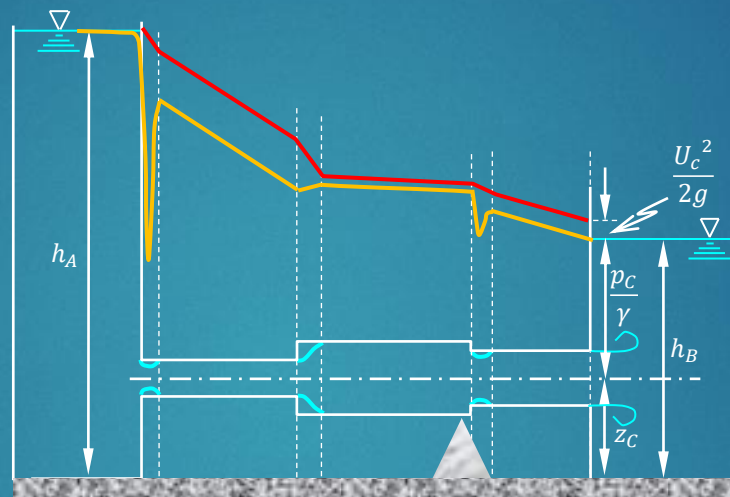
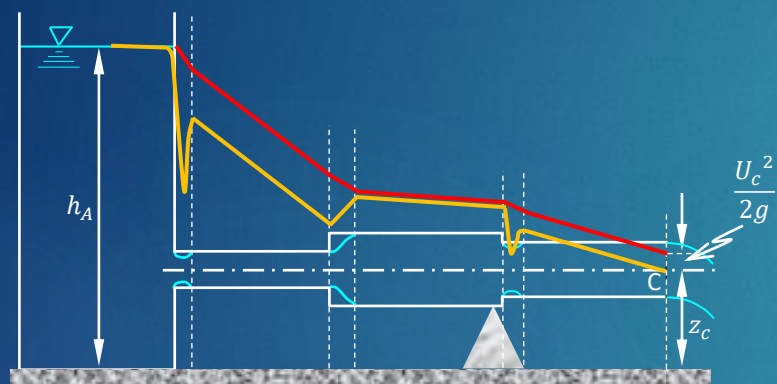
$$H_A - H_C = 0,5 \frac{U_1^2}{2g} + \lambda_1 \frac{U_1^2}{2gD_1} L_1 + \left(\frac{\Omega_2}{\Omega_1} - 1 \right)^2 \frac{U_2^2}{2g} + \lambda_2 \frac{U_2^2}{2gD_2} L_2 + \eta_r \frac{U_3^2}{2g} + \lambda_3 \frac{U_3^2}{2gD_3} L_3$$



- $H_A = z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{U_A^2}{2g} \cong z_A + \frac{p_A}{\gamma} = h_A$
 - $H_C = z_C + \frac{p_C}{\gamma} + \frac{U_C^2}{2g} = h_C + \frac{U_C^2}{2g} = z_C + \frac{U_C^2}{2g}$
 - $U_i = \frac{Q}{\Omega_i}$ Q portata in condotta
 - Sostituendo nell'equazione caratteristica:
- $$h_A - h_B = KQ^2 \quad Q = \sqrt{(h_A - h_B)/K}$$
- $$K = \frac{1}{2g} \left[\frac{0,5}{\Omega_1^2} + \frac{\lambda_1 L_1}{D_1 \Omega_1^2} + \left(\frac{1}{\Omega_1} - \frac{1}{\Omega_2} \right)^2 + \frac{\lambda_2 L_2}{D_2 \Omega_2^2} + \frac{\eta_r}{\Omega_3^2} + \frac{\lambda_3 L_3}{D_3 \Omega_3^2} + \frac{1}{\Omega_C^2} \right]$$

Analisi funzionamento condotta

► Casistica condizioni al contorno





Lunghe condotte

- Teorema di Bernoulli generalizzato per una condotta di M tronchi in serie

$$H_B - H_A = \sum_{i=1}^M \lambda_i \frac{U_i^2}{2gD_i} L_i + \sum_{j=1}^N \eta_j \frac{U_j^2}{2g}$$

- Perdite localizzate trascurabili rispetto a perdite distribuite se $\sum_{i=1}^M \lambda_i \frac{U_i^2}{2gD_i} L_i \gg \sum_{j=1}^N \eta_j \frac{U_j^2}{2g}$ con $\eta_j \approx 1$

✓ Esempi di perdite localizzate: condotte composte di:

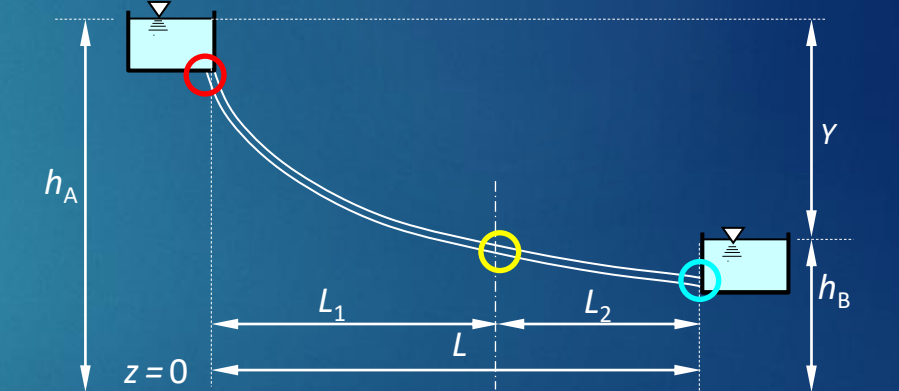
- due diametri (vedi figura): Perdite di **imbocco**, **brusco restringimento** o **allargamento**, **sbocco**
- Un diametro: Perdite di **imbocco** e di **sbocco**

- Introdotta una velocità caratteristica U :

$$\sum_{j=1}^N \eta_j \frac{U_j^2}{2g} \approx N \frac{U^2}{2g} \text{ e quindi } \lambda \frac{U^2}{2gD} L \gg N \frac{U^2}{2g} \longrightarrow \lambda \frac{L}{D} \gg N$$

✓ Lunghe condotte (lunghe rispetto al diametro)

- $\lambda = 0,015 \div 0,03$; $N = 3 \longrightarrow \frac{D}{L} \ll \frac{\lambda}{N} = \frac{0,015-0,03}{3}$
- Assunto a riferimento $\frac{D}{L}$ 4% di $\frac{\lambda}{N}$: $\left(\frac{L}{D}\right)_{min} = \frac{3}{0,04 \times 0,03} = 2500$



D (mm)	L (m)	Tipologia
100-1000	1000-10 000	Acquedotto esterno
60-200	100-1000	Rete urbana
10-20	10-50	Rete domestica



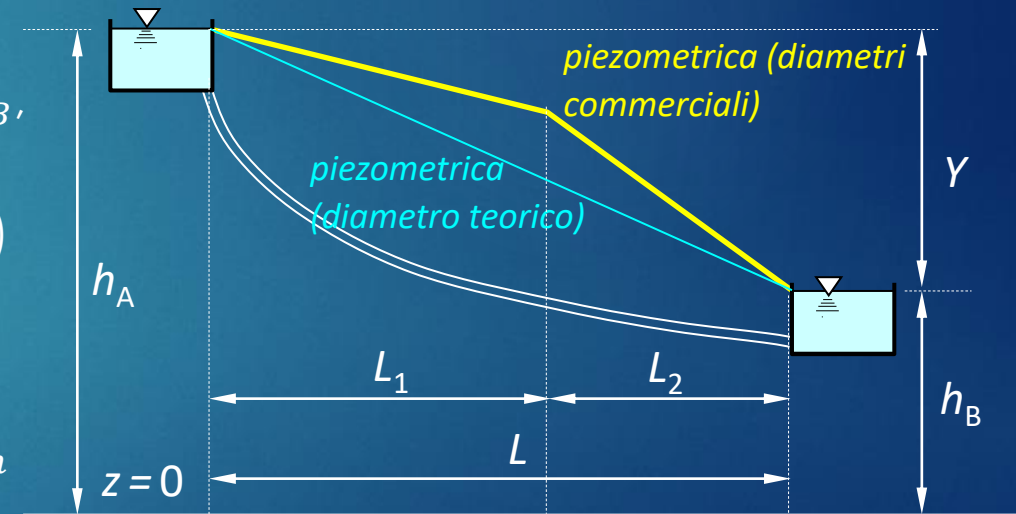
Lunghe condotte

► Linea piezometrica e linea dei carichi totali

- Lunga condotta $\longrightarrow \frac{U^2}{2g} \ll \Delta H \longrightarrow$ linee dei carichi totali e piezometrica indistinguibili
- ✓ Tipicamente per acquedotti: $U \approx 1 \text{ m/s} \longrightarrow \frac{U^2}{2g} \approx 0,05 \text{ m} \longrightarrow$ si traccia soltanto la piezometrica

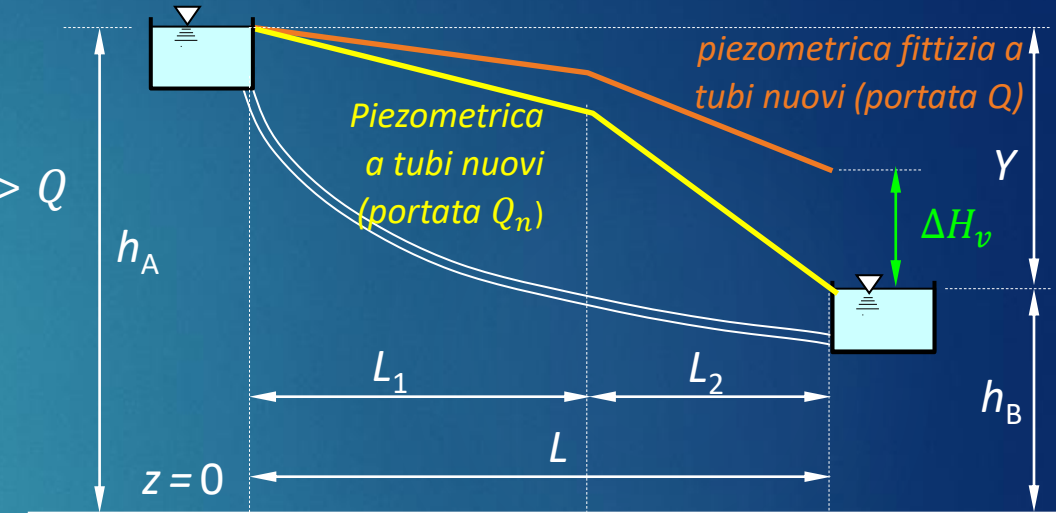
► Progetto di una lunga condotta

- Dati: portata Q , sviluppo L , materiale, dislivello $Y = h_A - h_B$, scabrezza tubazioni (tubi vecchi)
- Incognite: diametro D (da realizzare con tubi commerciali)
- Formula monomia per la cadente: $j = k Q^2 D^{-n}$
- ✓ Formula di Chezy: $k = k_v = \frac{4^{10/3}}{\pi^2 k_{sv}^2}$, $n = \frac{16}{3}$, k_{sv} di Strickler
- Legge di Bernoulli: $Y = k_v Q^2 D^{-n} L \longrightarrow D_t = \left(\frac{k_v Q^2 L}{Y} \right)^{1/n}$
 - D_t diametro teorico, senza riscontro in produzione
- Diametri commerciali prossimi a D_t : $D_1 > D_t > D_2$ tali che $\begin{cases} j_1 L_1 + j_2 L_2 = Y \\ L_1 + L_2 = L \end{cases} \longrightarrow L_1 = \frac{Y - j_2 L}{j_1 - j_2} ; L_2 = \frac{Y - j_1 L}{j_2 - j_1}$



Lunghe condotte

- Verifica a tubi nuovi: $k_{sn} > k_{sv} \implies k_n < k_v$
 - $Y = k_n Q_n^2 (D_1^{-n} L_1 + D_2^{-n} L_2) ; Q_n = \sqrt{\frac{Y}{k_n (D_1^{-n} L_1 + D_2^{-n} L_2)}} > Q$
 - Portata $Q \implies$ Perdite distribuite $< Y$ (vedi figura)
 - Necessaria valvola riduttrice di pressione per avere Q
 - $Y = k_n Q^2 (D_1^{-n} L_1 + D_2^{-n} L_2) + \Delta H_v \implies$
 $\Delta H_v = Y - k_n Q^2 (D_1^{-n} L_1 + D_2^{-n} L_2)$



► Rete di condotte con un nodo

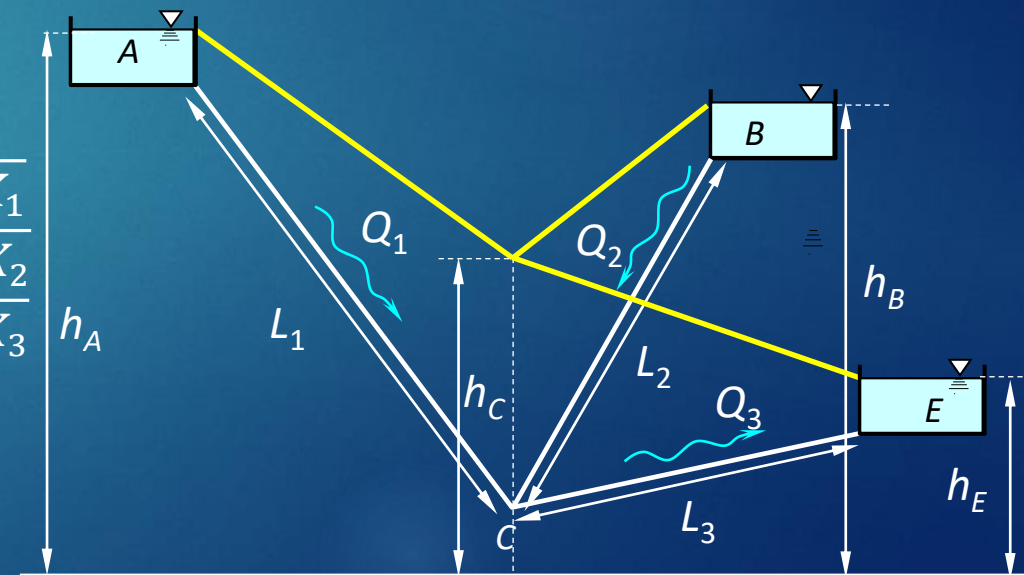
- Equazioni del moto (ai lati):

$$h_A - h_C = k_1 Q_1^2 D_1^{-n} L_1 = K_1 Q_1^2 \Rightarrow Q_1 = \sqrt{(h_A - h_C)/K_1}$$

$$h_B - h_C = k_2 Q_2^2 D_2^{-n} L_2 = K_2 Q_2^2 \Rightarrow Q_2 = \sqrt{(h_B - h_C)/K_2}$$

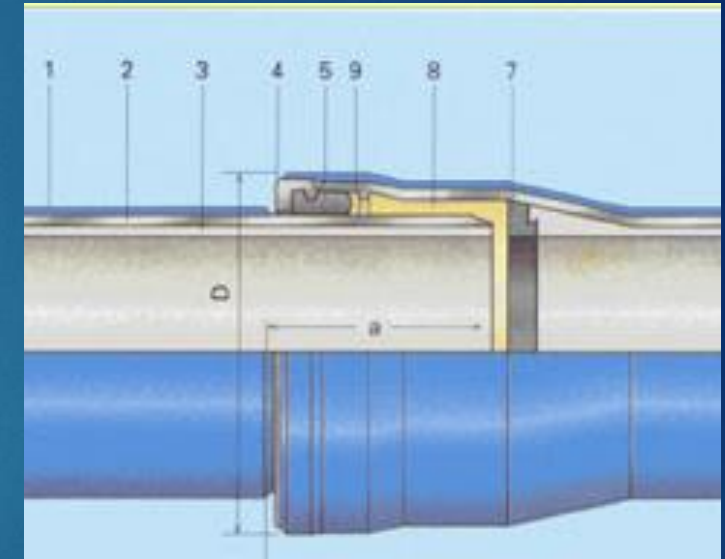
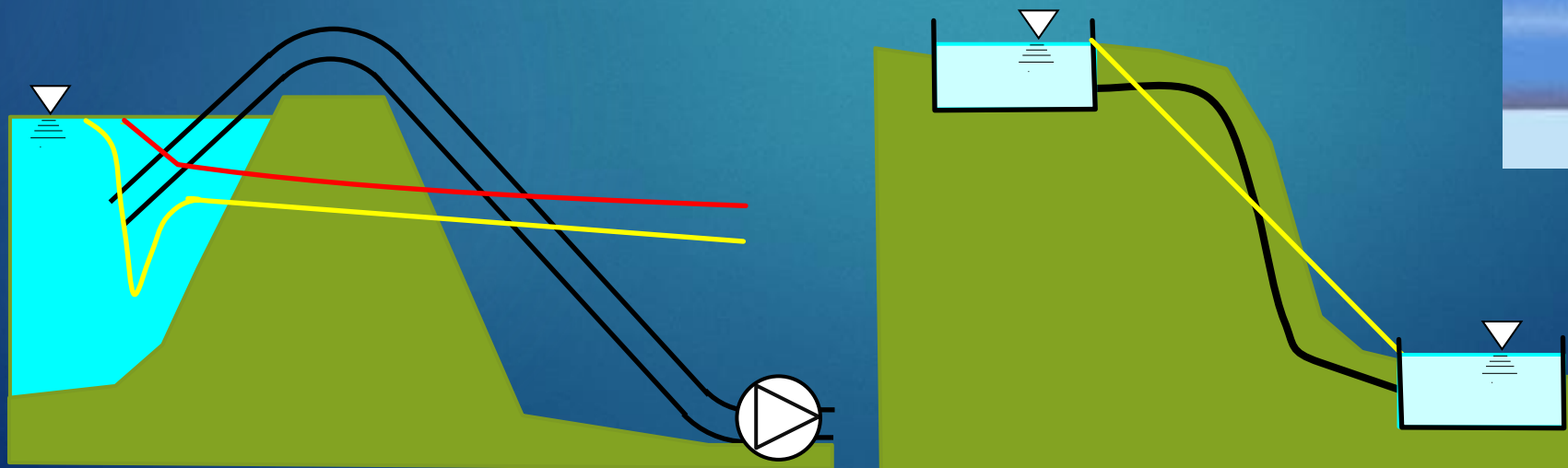
$$h_C - h_E = k_3 Q_3^2 D_3^{-n} L_3 = K_3 Q_3^2 \Rightarrow Q_3 = \sqrt{(h_C - h_E)/K_3}$$

- Equazione di continuità (al nodo): $Q_1 + Q_2 = Q_3$
- Verifica: $\sqrt{(h_A - h_C)/K_1} + \sqrt{(h_B - h_C)/K_2} = \sqrt{(h_C - h_E)/K_3}$
- Progetto: 4 incognite (D_1, D_2, D_3, h_C), 3 equazioni (moto)



Correnti in depressione

- Inconvenienti del funzionamento in depressione
 - Sollecitazione delle guarnizioni in giunzioni a bicchiere
 - Ingresso in condotta di acque di falda
 - Rilascio di bolle di aria con ostruzione al flusso in massimi di quota
- Casi tipici di funzionamento in depressione
 - Sifoni per emungimento da bacini
 - Condotte in uscita da serbatoi in zone impervie





Correnti in depressione

► Condotta con massimo relativo di quota asse

• Ipotesi:

- Per semplicità si trascurano perdite di imbocco
- Profilo altimetrico distorto (linee dei carichi totali e piezometrica rettilinee in tratti di moto uniforme)
- Livello a monte $h_A = \text{cost}$, livello a valle h_B variabile

• Calcolo della portata convogliata

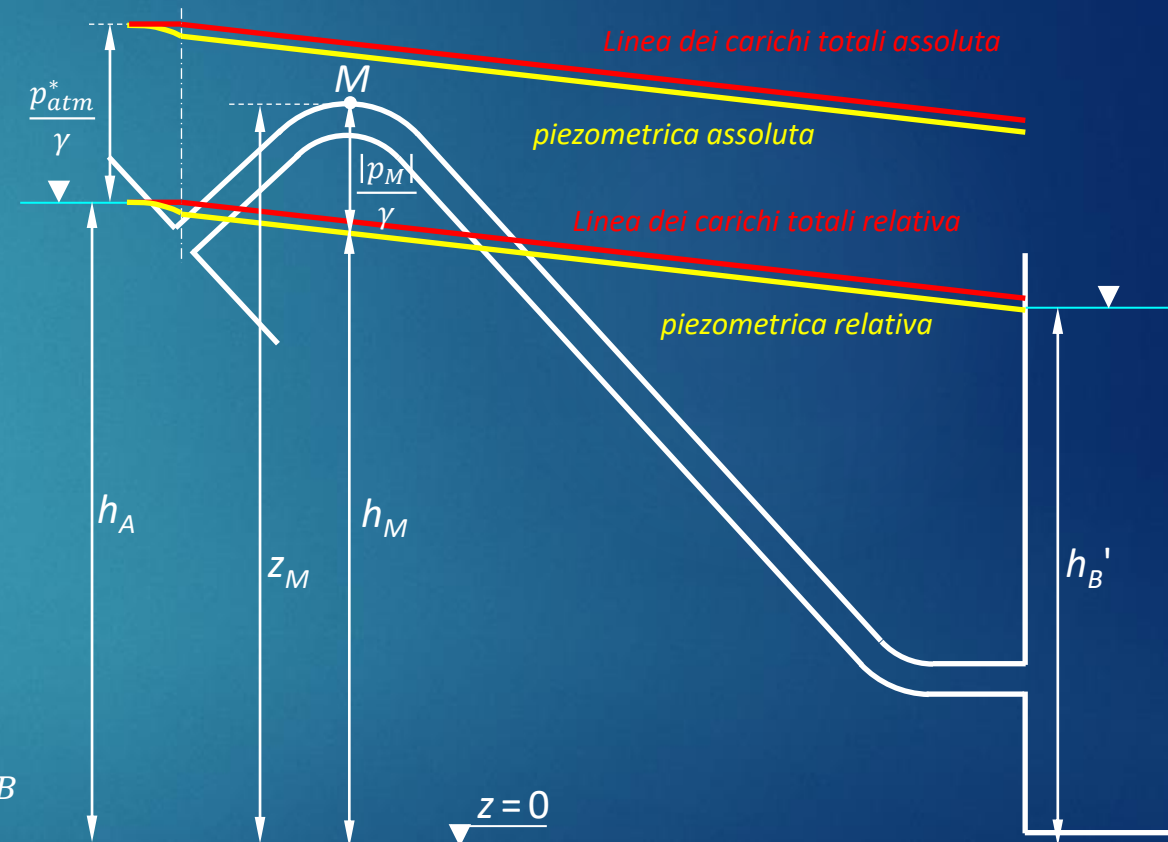
$$h_A - h_B = \lambda \frac{U^2}{2gD} L + \frac{U^2}{2g} = \left(\lambda \frac{L}{D} + 1 \right) \frac{Q^2}{2g\Omega^2}$$

$$Q = \Omega \sqrt{\frac{2g(h_A - h_B)}{1 + \lambda \frac{L}{D}}}$$

✓ La portata aumenta al diminuire della quota h_B

• Livello nel serbatoio di valle $h_B = h'_B$ (portata Q')

- Depressione in condotta, massima nel punto M
- Funzionamento possibile perché $|p_M|/\gamma < p_{atm}^*/\gamma$



✓ Al diminuire del livello a valle, con la portata aumentano anche la cadente e la depressione massima nel punto M di quota massima



Correnti in depressione

► Condotta con massimo relativo di quota asse

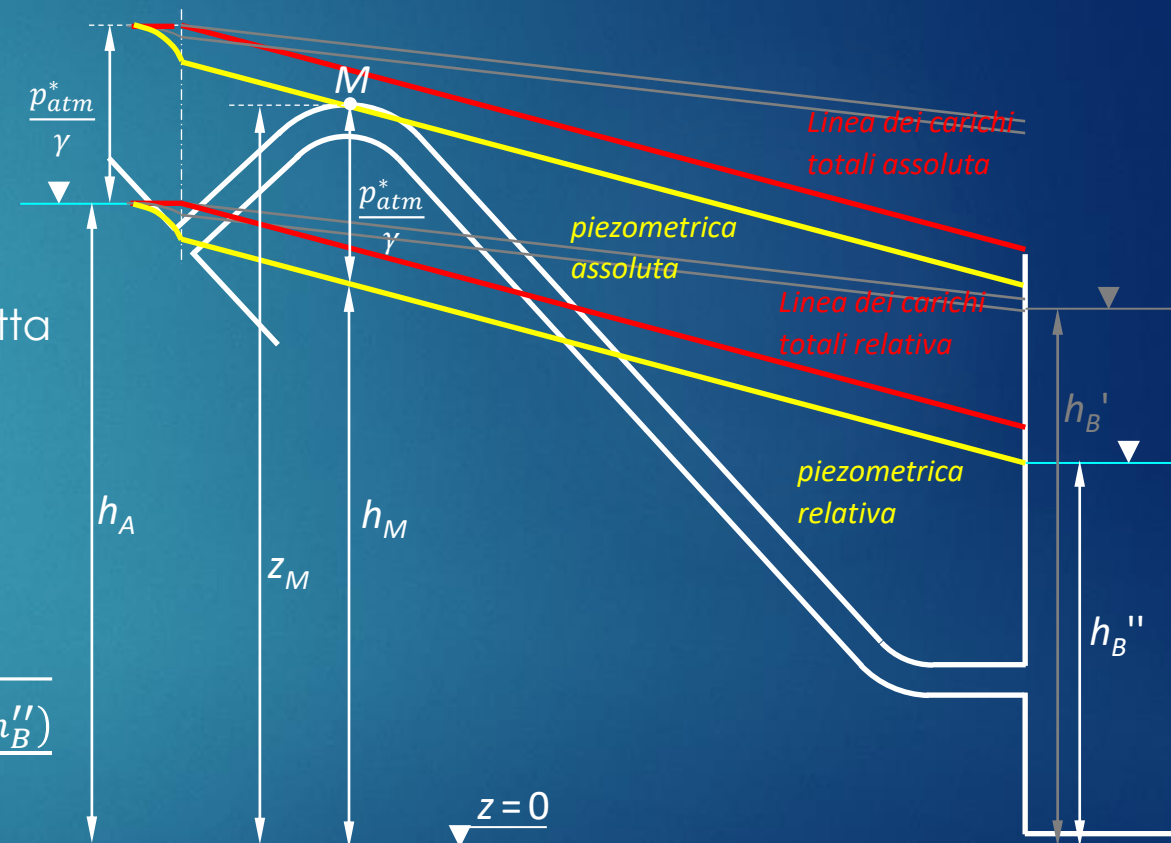
- Livello critico nel serbatoio di valle: $h_B = h_B'' = ?$
 - Depressione massima $p_M = -p_{atm}^*$
 - ✓ Piezometrica assoluta tangente in M
 - Q'' portata massima convogliabile dalla condotta
 - La sezione M è una sezione di controllo

$$h_A - h_M = \lambda \frac{U_{max}^2}{2gD} L_M + \frac{U_{max}^2}{2g} = \left(\lambda \frac{L_M}{D} + 1 \right) \frac{Q_{max}^2}{2g\Omega^2}$$

$$h_M = z_M - p_{atm}^*/\gamma$$

$$Q'' = Q_{max} = \Omega \sqrt{\frac{2g(h_A - z_M + p_{atm}^*/\gamma)}{1 + \lambda \frac{L_M}{D}}} = \Omega \sqrt{\frac{2g(h_A - h_B'')}{1 + \lambda \frac{L}{D}}}$$

$$h_B'' = h_A - \left(\lambda \frac{L}{D} + 1 \right) \frac{Q_{max}^2}{2g\Omega^2} = h_A - \frac{(h_A - z_M + p_{atm}^*/\gamma)}{1 + \lambda \frac{L_M}{D}} \left(1 + \lambda \frac{L}{D} \right)$$



- ✓ A rigore andrebbe considerato il limite $p_M^*/\gamma = p_v^*/\gamma$ ovvero $|p_M|/\gamma = (p_{atm}^* - p_v^*)/\gamma$
- ✓ È buona norma assumere margine di sicurezza (franco) su massima depressione ammissibile



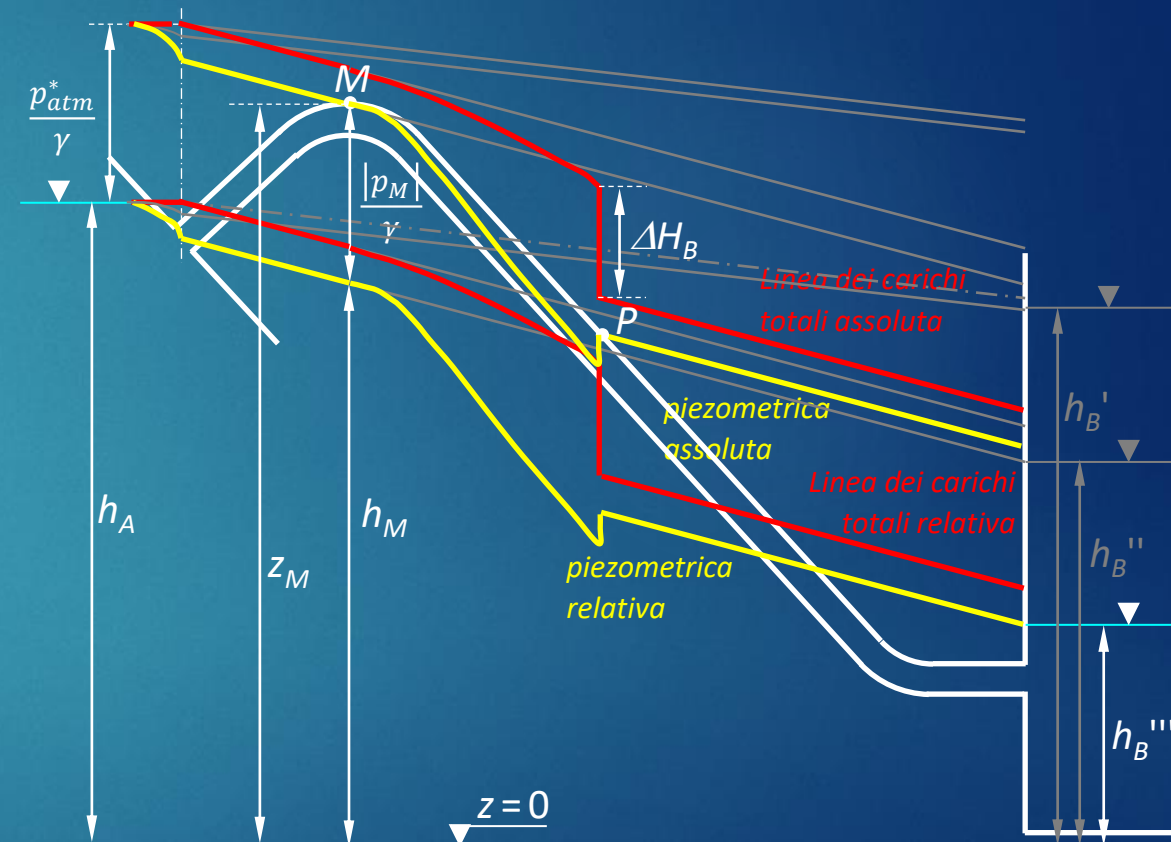
Correnti in depressione

► Condotta con massimo relativo di quota asse

- Livello nel serbatoio di valle $h_B = h_B''' < h_B''$
 - Rispetto a caso $h_B = h_B''$ invariate:
 - Depressione massima $p_M = -p_{atm}^*$
 - Portata $Q''' = Q_{max} = \Omega \sqrt{\frac{2g(h_A - z_M + p_{atm}^*/\gamma)}{1 + \lambda \frac{L_M}{D}}}$
 - Piezometrica e linea c.t. fino a sezione M
 - A valle della sezione M si ha il moto a canaletta
 - Corrente a pelo libero, $p^* = 0 = \text{cost}$ in superficie

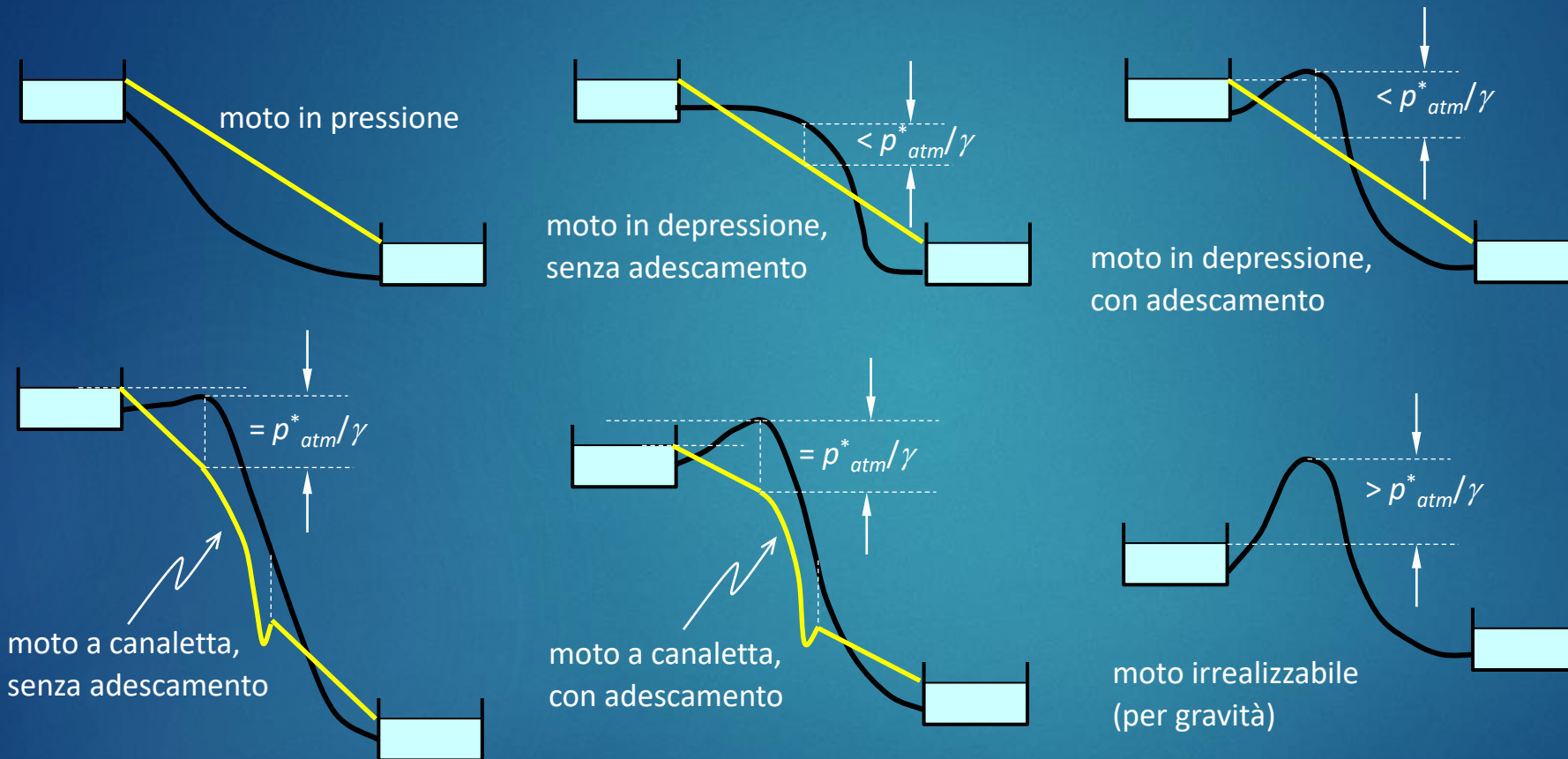
$$z_M + \frac{U_{max}^2}{2g} = z_x + \frac{U_x^2}{2g} + \int_{L_M}^x \lambda \frac{U^2}{8gR} dx$$

- Corrente accelerata, $\Omega(s)$ decrescente verso valle
- Il moto a canaletta ha termine nella sezione a partire dalla quale si ha $p > -p_{atm}^*$, ovvero $p^* > 0$ (punto P)



- ✓ Energia in eccesso in P dissipata in brusca espansione (perdita di Borda ΔH_B)

Casistica di correnti in depressione



- Limitazioni del funzionamento a gravità
- Dislivello insufficiente per convogliare la portata richiesta
 - Depressioni incompatibili con la portata richiesta

- ✓ Le limitazioni del funzionamento a gravità si superano fornendo energia alla corrente mediante macchine idrauliche (pompe)



Equazione del moto per le correnti

► Equazioni del moto per fluido incompressibile, isoterma, omogeneo ($\rho = \text{cost}$), viscoso, pesante

- Per una particella (moto vario; da bilancio di quantità di moto – Equazione di Navier-Stokes)

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \right) = \frac{\nu}{g} (\nabla^2 \vec{u})_s \quad H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = h + \frac{u^2}{2g} \quad \text{carico totale}$$

- Per una corrente gradualmente variata (moto stazionario; da bilancio dell'energia)

$$\frac{\partial \tilde{H}}{\partial s} = -j \quad \tilde{H} = z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{U^2}{2g} \quad \text{carico totale medio della corrente; } \alpha = \frac{\int_{\Omega} u^3 d\Omega}{U^3 \Omega} \cong 1 \quad (\text{regime turbolento})$$

- Per il moto uniforme (da bilancio della quantità di moto – equazione globale del moto)

$$\frac{\partial \tilde{H}}{\partial s} = -\frac{\tau_0}{\gamma \mathfrak{R}} \quad \tau_0 \text{ sforzo resistente alla parete; } \mathfrak{R} \text{ raggio idraulico}$$

- Da equazione globale del moto per un tratto di corrente gradualm. variata si otterrebbe (moto vario)

$$\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} \left(z + \frac{p}{\gamma} + \beta \frac{U^2}{2g} \right) = -\frac{\tau_0}{\gamma \mathfrak{R}} \quad \beta = \frac{\int_{\Omega} u^2 d\Omega}{U^2 \Omega} \cong 1 \quad (\text{Equazione del moto per le correnti})$$

$$-\frac{\tau_0}{\gamma \mathfrak{R}} \cong \lambda \frac{U^2}{8g\mathfrak{R}} \quad (\text{Darcy-Weisbach}) \quad \text{o} \quad \frac{\tau_0}{\gamma \mathfrak{R}} \cong \frac{U^2}{\chi^2 \mathfrak{R}} \quad (\text{Chezy}) \quad \text{approssimando con leggi per il moto uniforme}$$