

Fondamenti di ingegneria idraulica

Alberto Berizzi,
Dipartimento di Elettrotecnica
Politecnico di Milano

1

Legge di Bernoulli

Data una sezione 1 in un condotto chiuso di sezione circolare,

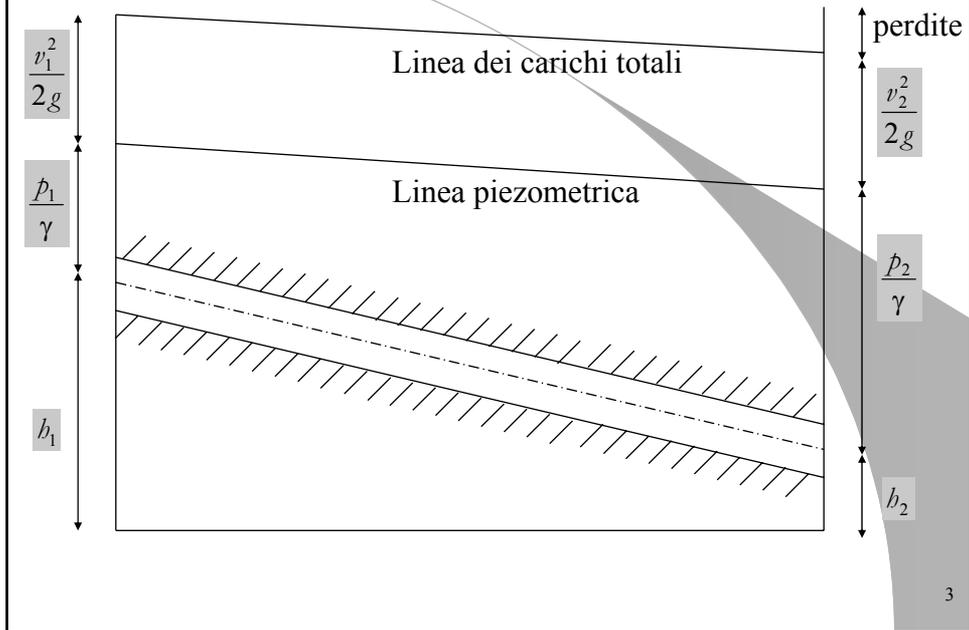
$$H_1 = h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

Energia totale per unità di peso [m]=
quota geodetica+altezza piezometrica+altezza cinetica

In condizioni ideali e a regime permanente, H è costante

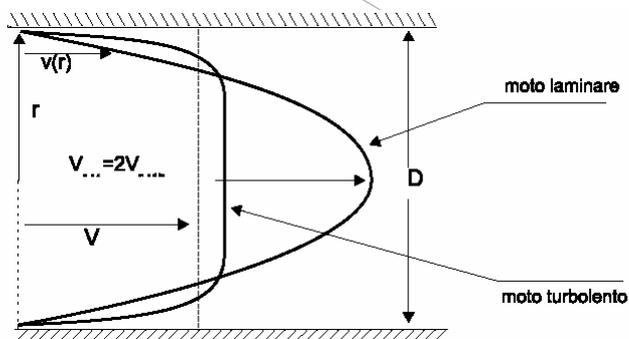
2

Nella realtà...



3

Tipologie di moto



Numero di Reynolds: $N_R = \frac{Dv}{\lambda}$ $D = \text{diametro}$
 $\lambda = \text{viscosità cinematica}$
 (a 20°C è $10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$, per l'acqua)
 $v = \text{velocità media dell'acqua}$

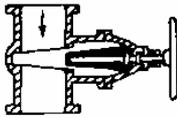
Il valore critico di N_R per il moto turbolento è circa 2000

4

Perdite di carico

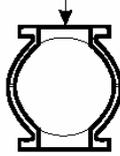
- Attrito
- Turbolenza
- Griglie
- Brusca contrazione o espansione
- Curve
- Valvole

Saracinesca



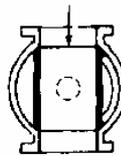
$K_v=0,2$

Farfalla



$K_v=0,6$

Sfera



$K_v=0,05$

Valvola di regolazione

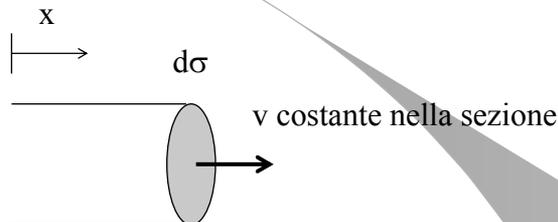


$K_v=1,0$

$$\Delta H = K_v \cdot v^2 / 2g$$

5

Potenza di una corrente



$$E = mg \left(h + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right) = mgH$$

$$P = \frac{dE}{dt} = gH \frac{dm}{dt} = \delta gH \frac{d}{dt}(V) = \gamma H Q$$

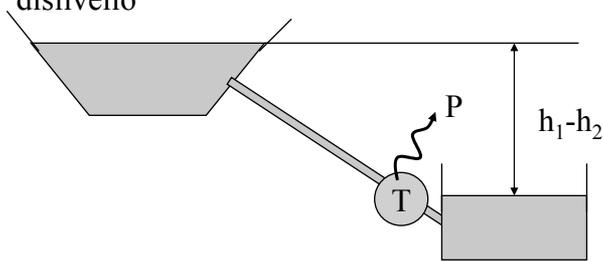
Poiché $\gamma = 9.81 \cdot 1000 \text{ N/m}^3$, $P = 9.81 Q H \text{ [kW]}$

6

In due sezioni consecutive (senza perdite):

$$P_1 - P_2 = \gamma Q (H_1 - H_2) = \gamma Q \left[(h_1 - h_2) + \left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} \right) + \left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \right]$$

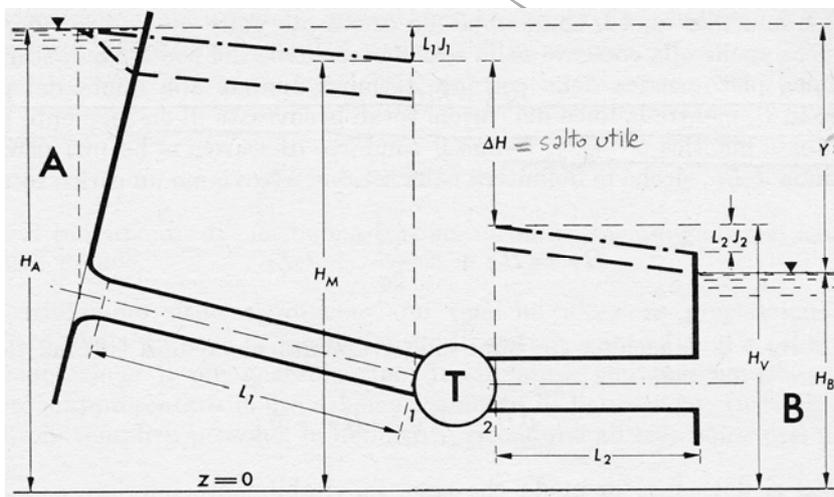
Considero i due bacini non collegati: sul pelo libero, a p atmosferica e v nulla: $\Delta H = h_1 - h_2$ è il salto disponibile
Se inserisco una turbina, posso ricavare una P proporzionale al dislivello



Grandezze fondamentali sono:
portata e salto

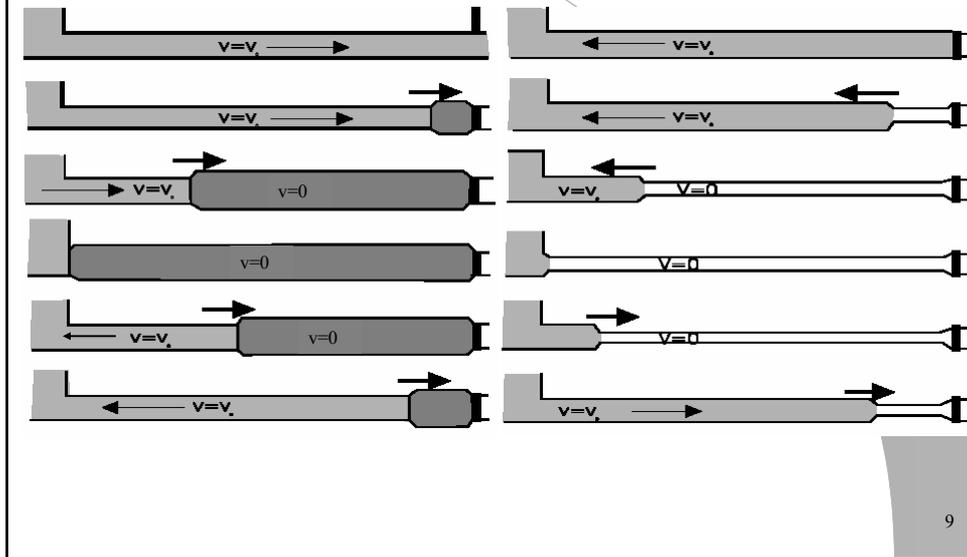
7

Salto utile



8

Transitori: il colpo d'ariete



Colpo d'ariete

- Sovrapressioni e depressioni che possono rompere la condotta
- Velocità di chiusura della valvola
- Tempo critico: $T_{cr} = 2L/c$ con $c = 1420$ m/s
- Massima sovrapressione [m]:

$$\Delta H_{max} = cv/g,$$
 se $T_m < T_{cr}$ e se la corrente aveva velocità v
- Se la chiusura è lenta ($T_m > T_{cr}$),

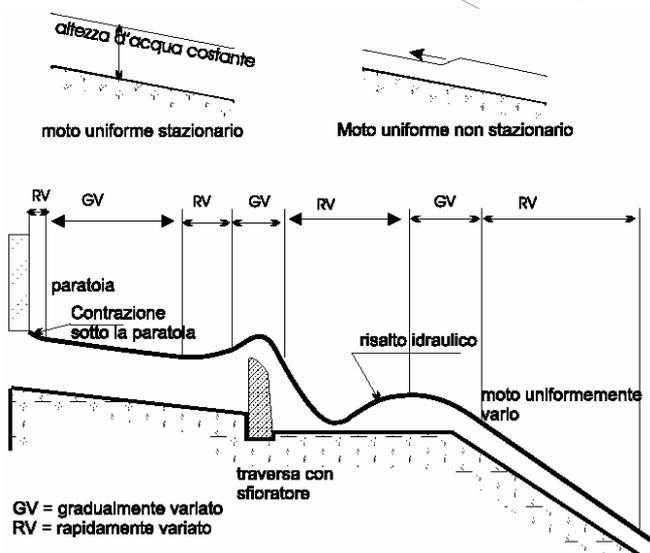
$$\Delta H = 2Lv/gT_m = \Delta H_{max} T_{cr}/T_m$$

Canali a pelo libero

- Le velocità tipicamente sono 1.5-2 m/s
- A pari sezione liquida, presentano minore perimetro bagnato e quindi meno perdite
- Costano meno, per alte portate
- La sezione migliore dal punto di vista idraulico sarebbe la semicircolare, ma costa: si usa molto la trapezoidale (mezzo esagono) o la rettangolare

11

Moto nei canali a pelo libero



- Moto stazionario: quando la portata o l'altezza d'acqua in ogni sezione non cambia nel tempo
- Moto non stazionario: quando una delle grandezze cambia nel tempo

12

Moto uniforme nei c.p.l.

- L'altezza d'acqua, l'area bagnata e la velocità sono costanti in ogni sezione
- La linea dei carichi totali, la superficie libera e il fondo del canale sono paralleli
- Formula di Chezy: $v = C\sqrt{Ri} = (kR^{1/6})\sqrt{Ri}$
 - dove:
 - C fattore di resistenza di Chezy
 - k fattore di scabrezza di Strickler (k=60-80)
 - R raggio idraulico della sezione del canale
 - i pendenza del fondo del canale