

# 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,

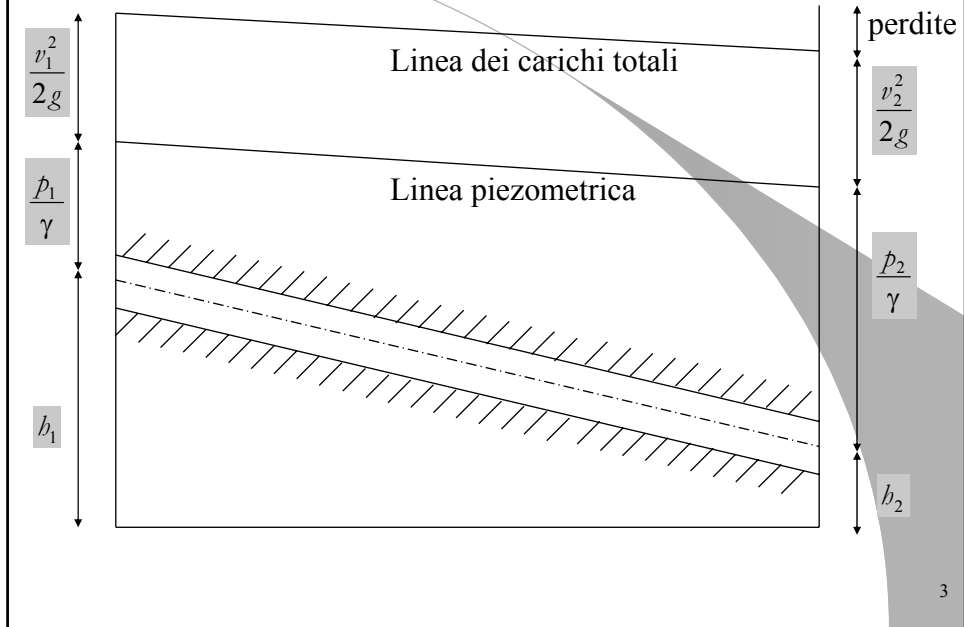
$$H_1 = h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

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

In condizioni ideali e a regime permanente, H è costante

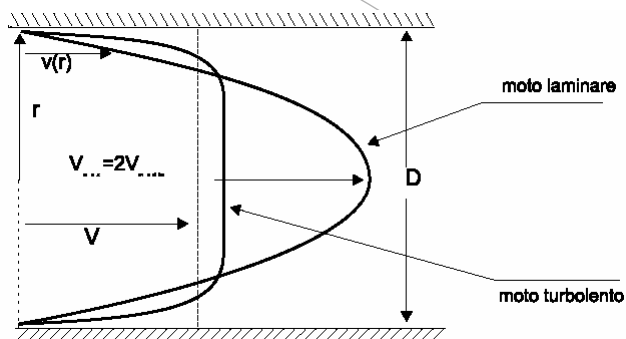
2

## 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)  
 $v = \text{velocità media dell'acqua}$

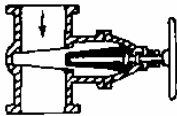
Il valore critico di  $N_R$  per il moto turbolento è circa 2000

4

# Perdite di carico

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

Saracinesca



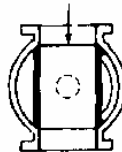
$K_v=0,2$

Farfalla



$K_v=0,6$

Sfera



$K_v=0,05$

Valvola di regolazione

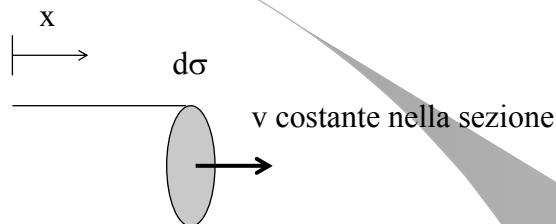


$K_v=1,0$

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

5

# Potenza di una corrente



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

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

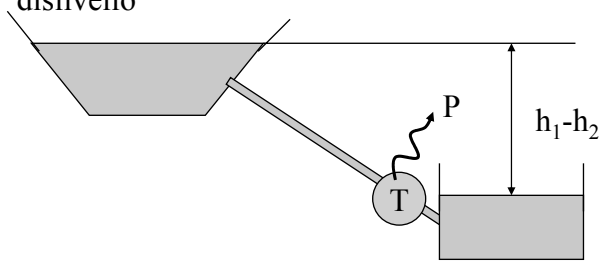
Poiché  $\gamma = 9.81 \cdot 1000 \text{ N/m}^3$ ,  $P = 9.81 Q H \text{ [kW]}$

6

# In due sezioni consecutive (senza perdite):

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

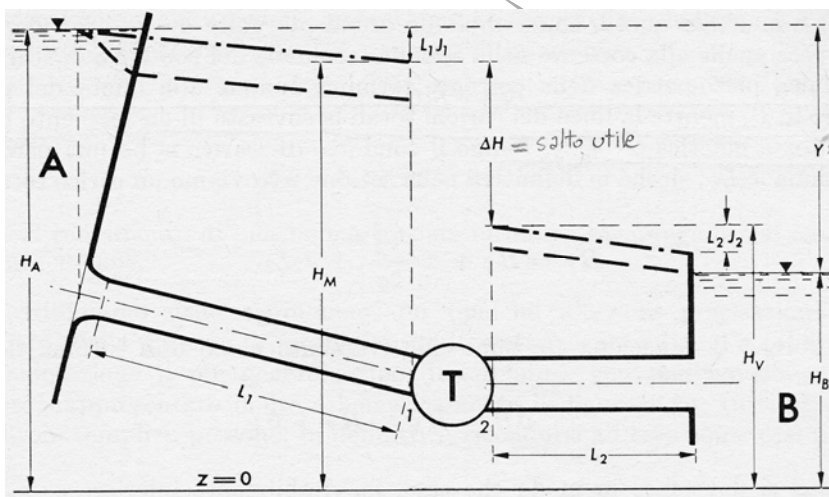
Considero i due bacini non collegati: sul pelo libero, a p atmosferica e v nulla:  $\Delta H = h_1 - h_2$  è il salto disponibile  
Se inserisco una turbina, posso ricavare una P proporzionale al dislivello



Grandezze fondamentali sono:  
portata e salto

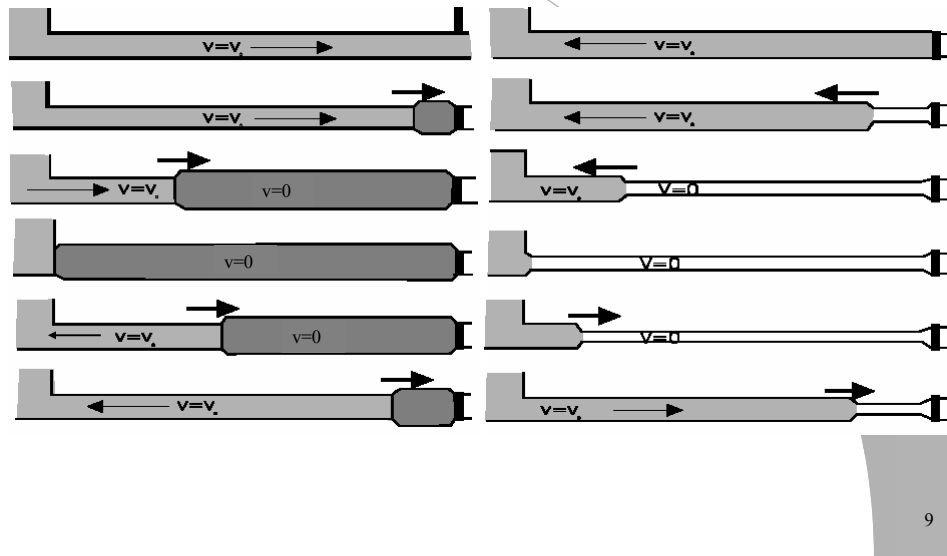
7

# Salto utile



8

# Transitori: il colpo d'ariete



## Colpo d'ariete

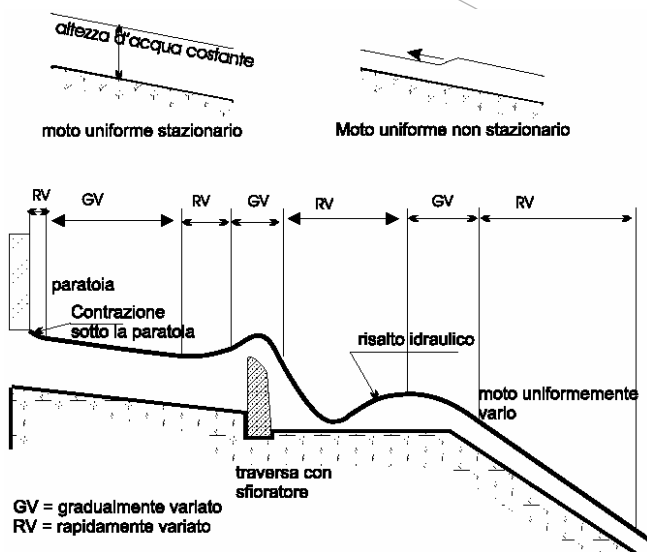
- Sovrapressioni e depressioni che possono rompere la condotta
- Velocità di chiusura della valvola
- Tempo critico:  $T_{cr}=2L/c$  con  $c=1420$  m/s
- Massima sovrapressione [m]:  
$$\Delta H_{max}=cv/g,$$
se  $T_m < T_{cr}$  e se la corrente aveva velocità  $v$
- Se la chiusura è lenta ( $T_m > T_{cr}$ ),  
$$\Delta H=2Lv/gT_m = \Delta H_{max} T_{cr}/T_m$$

# 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