



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento
di Ingegneria Industriale

Classificazione generale delle macchine

Corso di Macchine 1

Agenda

- ▶ Macchina a fluido: definizione
- ▶ Classificazione delle macchine a fluido
 - ▶ Operatrice e Motrice
 - ▶ Idrauliche e Termiche
 - ▶ Volumetriche e Turbomacchine
- ▶ Curve caratteristiche delle macchine a fluido
- ▶ I parametri operativi nelle curve caratteristiche
 - ▶ Fluido comprimibile
 - ▶ Fluido Incomprimibile
- ▶ Curva resistente dell'impianto



Macchine a fluido

*«Macchina costituita da un insieme di **elementi fissi e mobili** che **interagiscono** con un **fluido** di lavoro (liquido, vapore o gas), realizzando con esso uno **scambio energetico**»*



Classificazione delle Macchine

	Idrauliche		Termiche	
	<i>Operatrici</i>	<i>Motrici</i>	<i>Operatrici</i>	<i>Motrici</i>
Volumetriche	Pompe Volumetriche	Attuatori Volumetrici	Compressori Volumetrici	Motori a combustione interna
A flusso continuo o turbomacchine	Turbopompe e Ventilatori	Turbine Idrauliche	Turbo-compressori	Turbine a gas e a vapore



Curve caratteristiche

I parametri operativi nelle curve caratteristiche

Fluidi incompressibili

Curve caratteristiche e parametri di esercizio

$$\eta_{id} = \frac{Q_m gh}{P_{alb}} \rightarrow gh = \frac{p_e^0}{\rho} - \frac{p_i^0}{\rho} = \left(\frac{p_e}{\rho} + \frac{c_e^2}{2} + gz_e \right) - \left(\frac{p_i}{\rho} + \frac{c_i^2}{2} + gz_i \right)$$

- Ne deriva che, per un fluido incompressibile, i **parametri funzionali** di una macchina a fluido sono:
 - ✓ la **portata di massa** Q_m
 - ✓ lo **scambio di energia** gh
 - ✓ la **potenza** P_{alb} (oppure il rendimento η_{id})
- Ad **analoghe conclusioni** si pervenirebbe se, considerando ancora il fluido incompressibile, si considerasse una **turbina**
- Anche per i fluidi incompressibili, dalla formulazione del primo principio **non emerge in modo evidente** un altro parametro di funzionamento essenziale per **ogni** macchina a fluido:

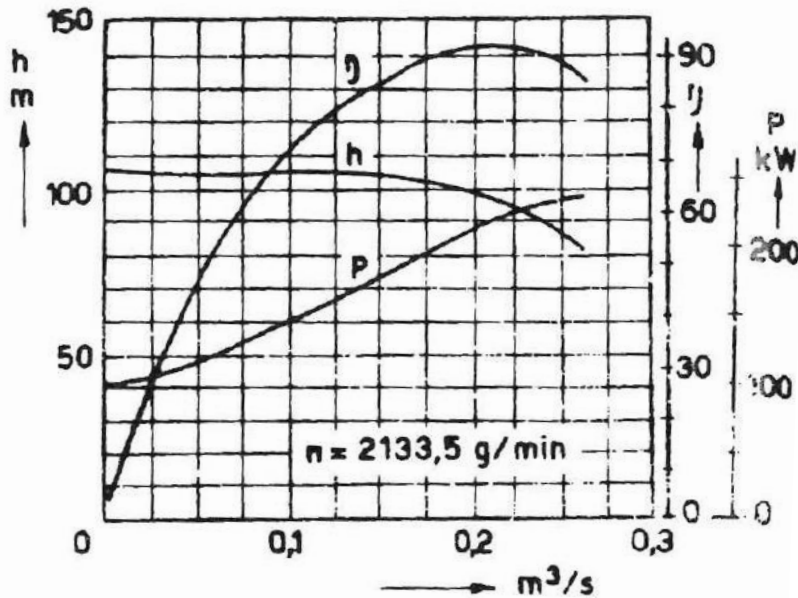
il **regime di rotazione n** dell'albero motore





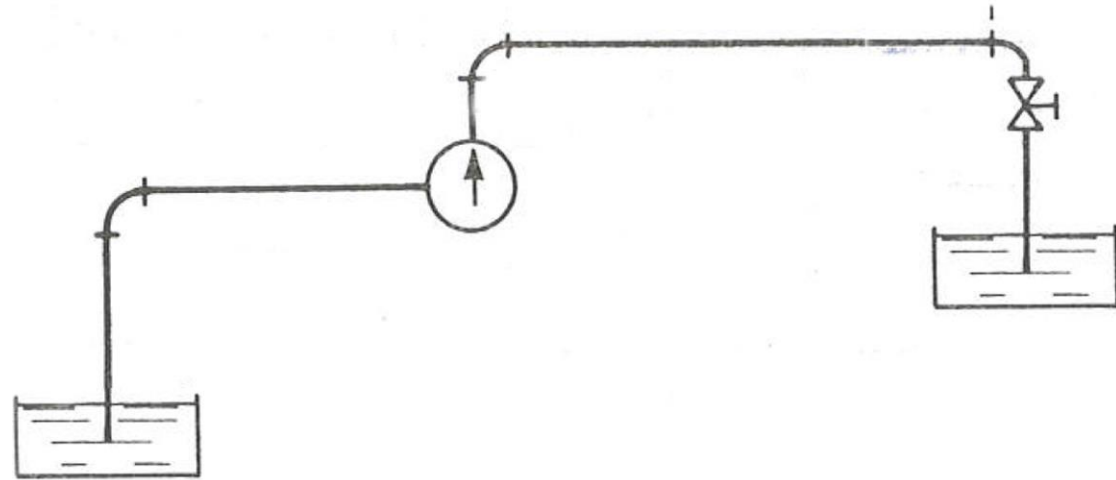
Caratteristica resistente
dell'impianto

Caratteristica resistente dell'impianto



Curve caratteristiche di una pompa centrifuga a $n=\text{cost}$

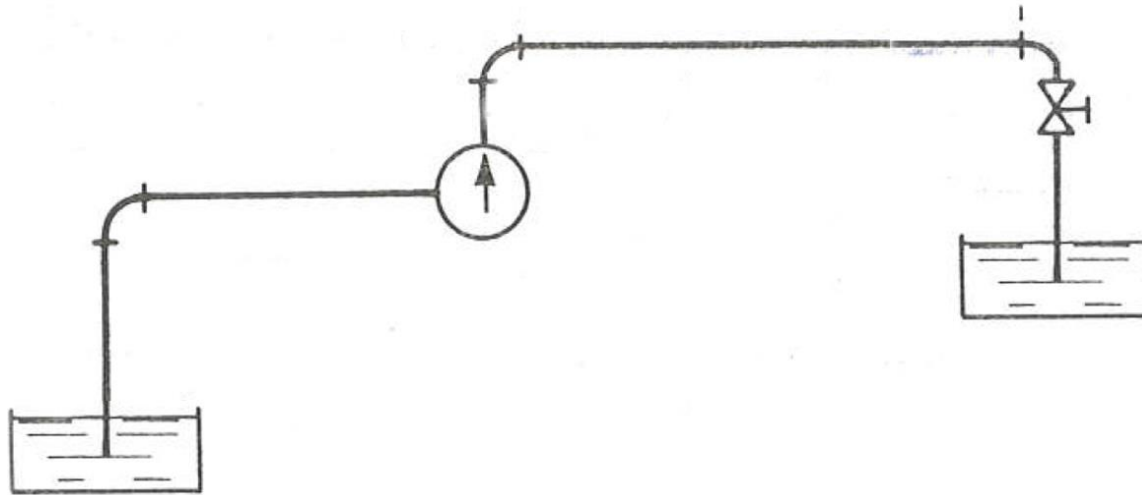
La curva caratteristica di una macchina rappresenta la **molteplicità di punti operativi** in cui la macchina si può trovare ad operare



Es. impianto di pompaggio

Quali sono le effettive condizioni di esercizio di una macchina se inserita in un impianto????

Caratteristica resistente dell'impianto

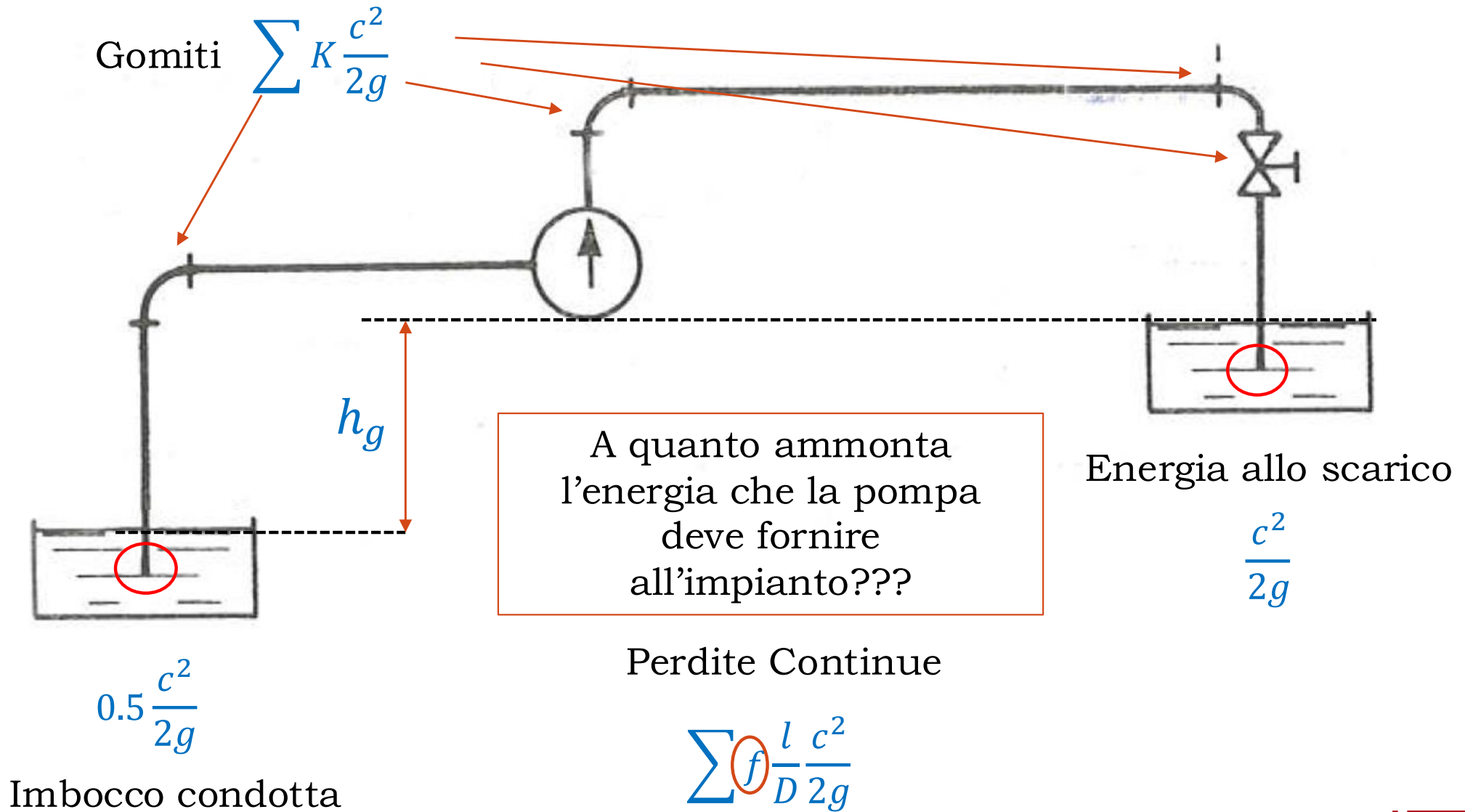


- Le **condizioni di esercizio effettive** di una macchina a fluido dipendono dalla «**caratteristica funzionale o resistente del sistema**» nel quale la macchina è installata

➡ esprime la richiesta di energia dell'impianto («resistenza»)

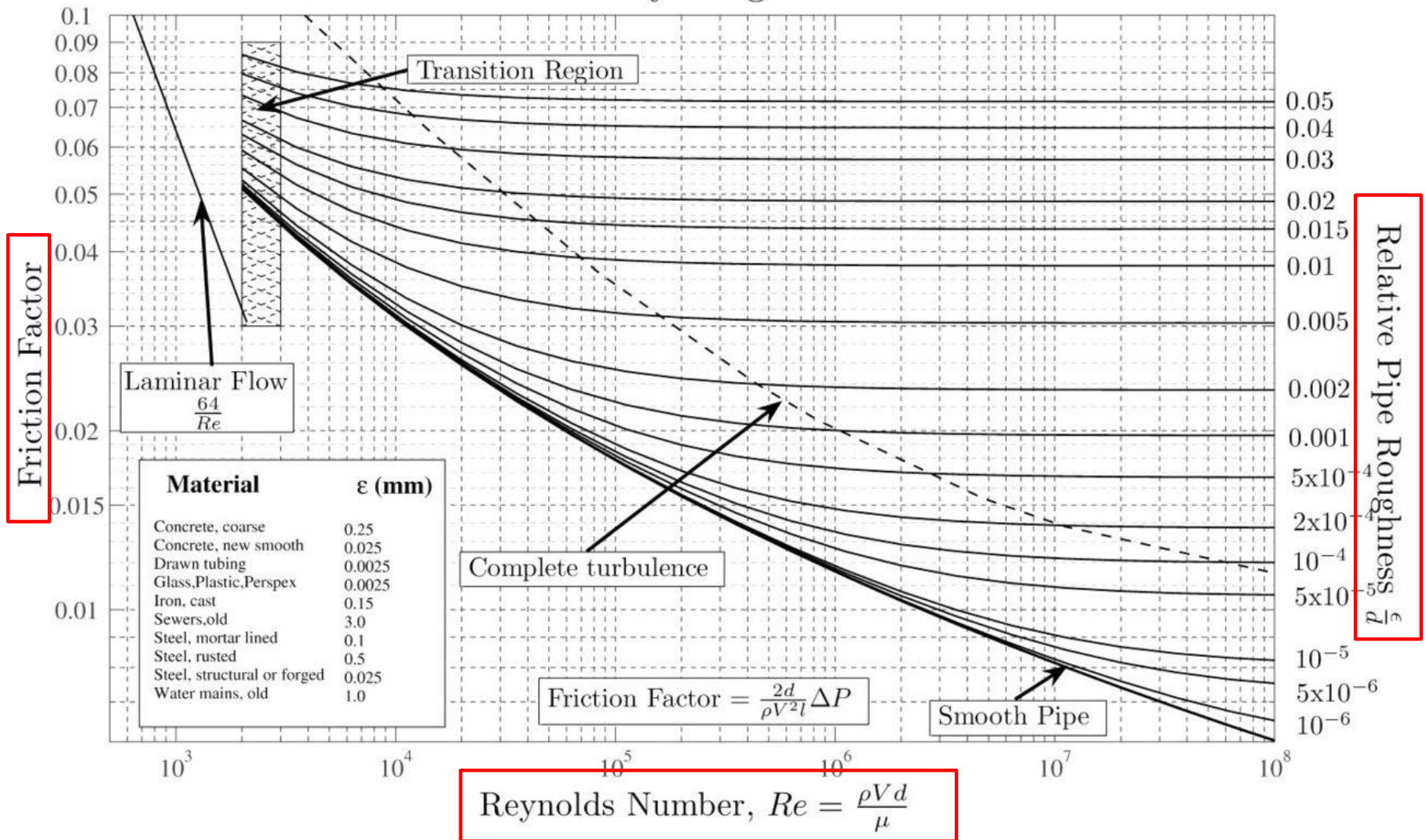
- Ad esempio, per un **impianto di pompaggio**, la caratteristica resistente dell'impianto fornisce, **al variare della portata**, l'**energia** che dovrà essere fornita dalla pompa all'unità di massa di fluido per consentirne il convogliamento da un serbatoio ad un altro ad energia più elevata

Caratteristica resistente dell'impianto

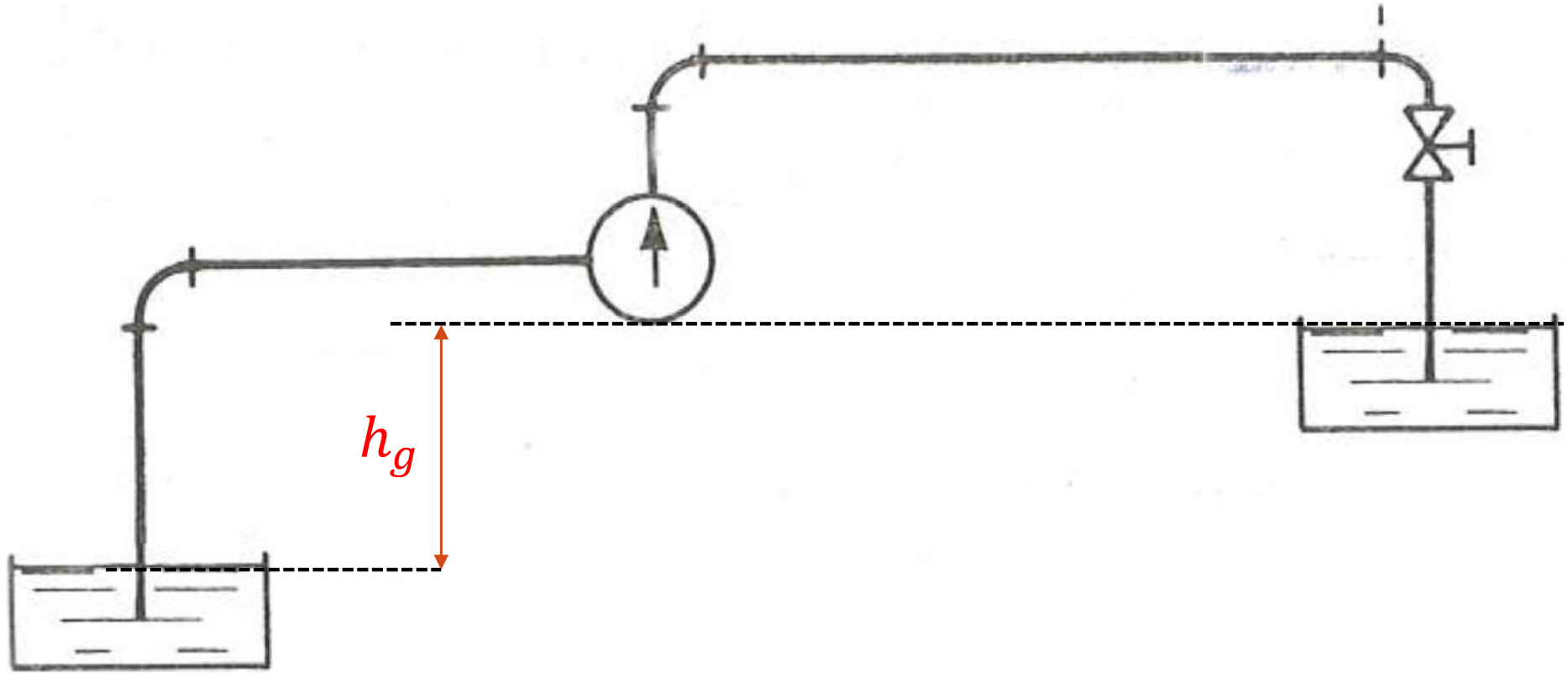


Caratteristica resistente dell'impianto

Moody Diagram



Caratteristica resistente dell'impianto

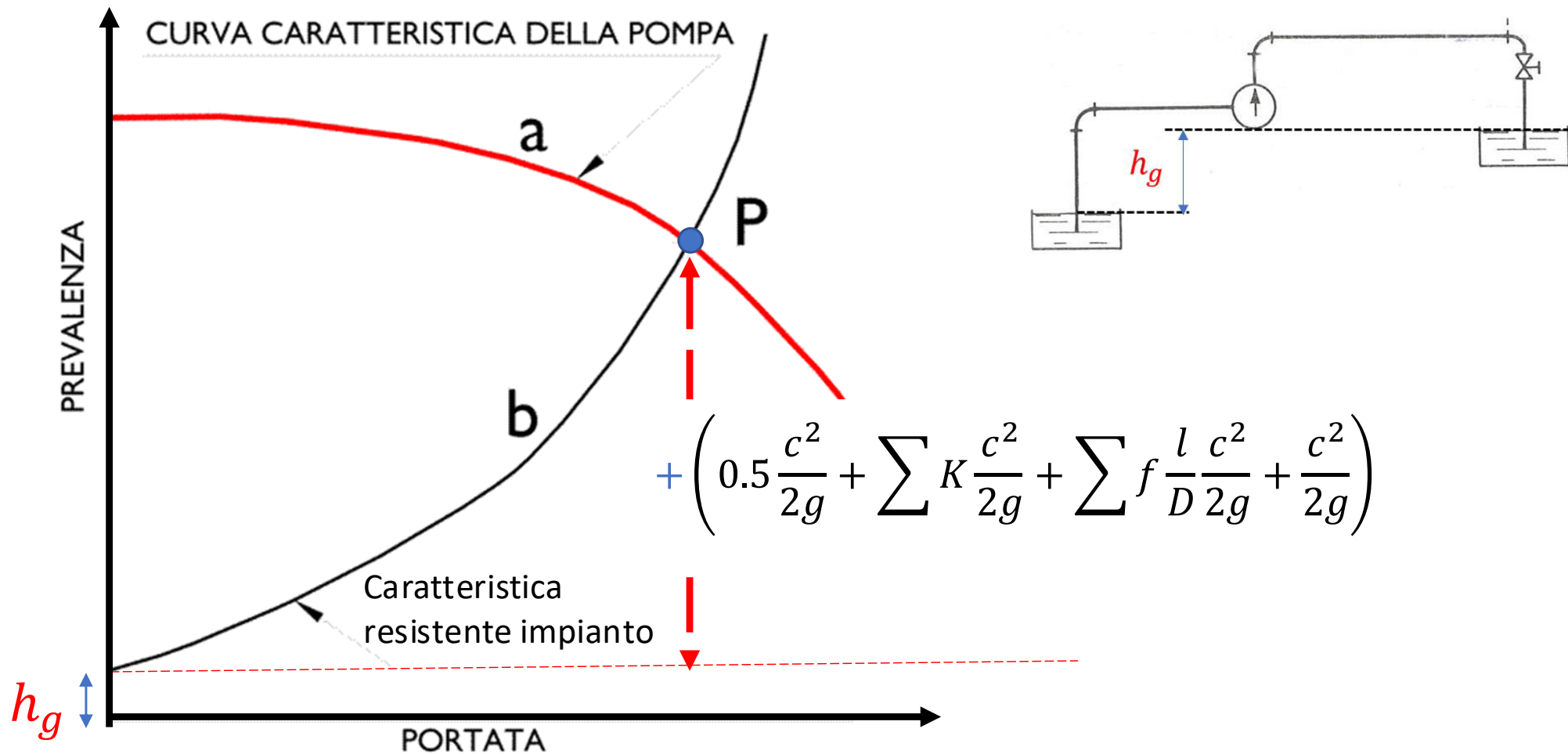


$$h_r = h_g + \left(0.5 \frac{c^2}{2g} + \sum K \frac{c^2}{2g} + \sum f \frac{l}{D} \frac{c^2}{2g} + \frac{c^2}{2g} \right)$$

Dovrà fornire
all'impianto l'energia
necessaria per
convogliare l'acqua da
un serbatoio all'altro

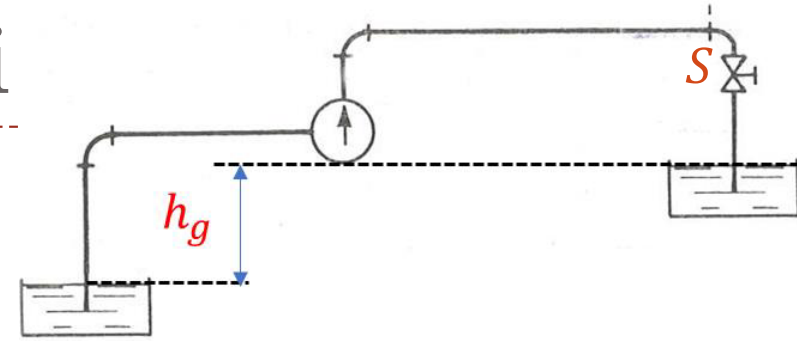
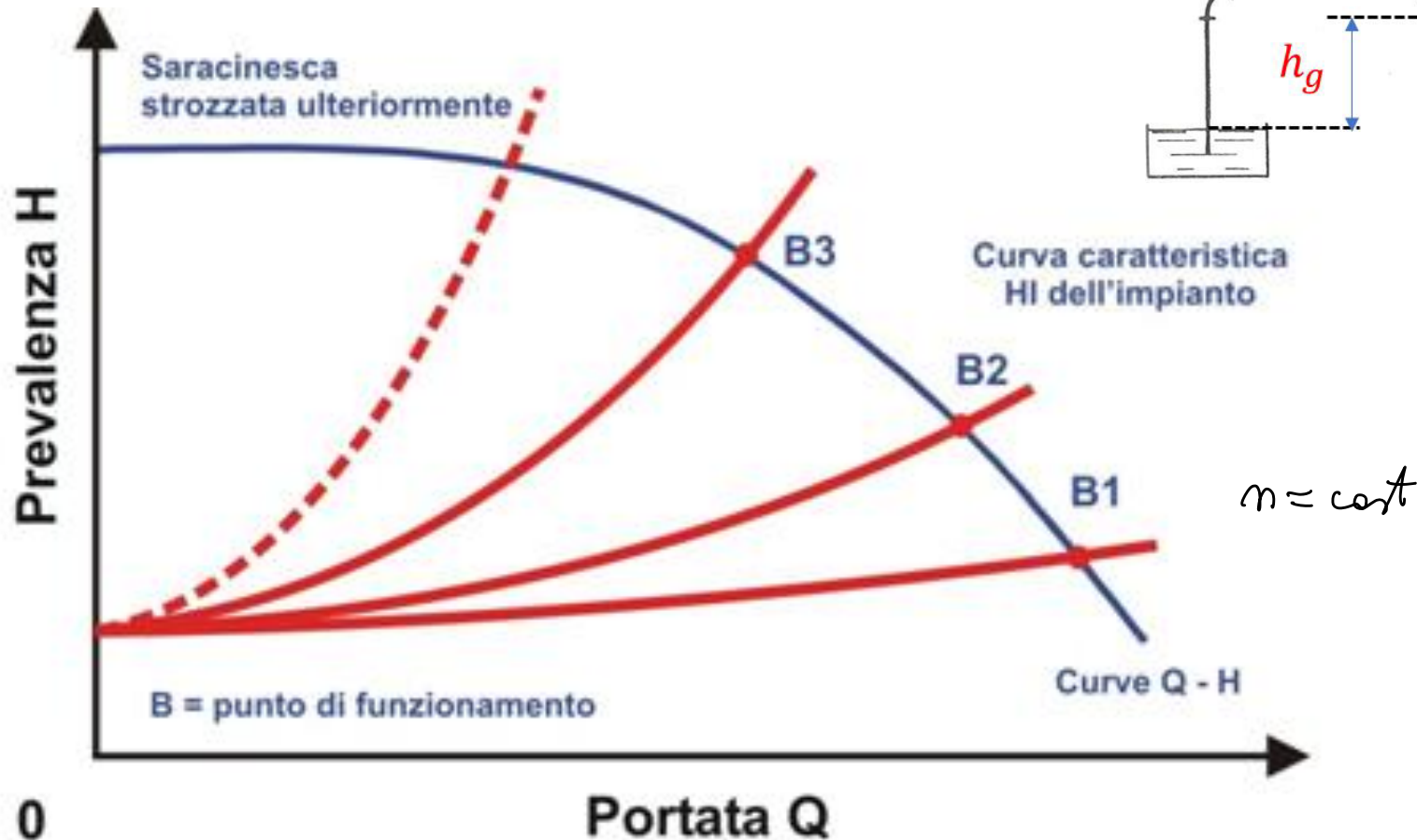
CARATTERISTICA RESISTENTE DELL'IMPIANTO

Caratteristiche funzionali



- Le **condizioni di esercizio** della pompa inserita nell'impianto sono rappresentate dal punto **P**, intersezione della **curva caratteristica** della pompa (curva **a**) con la **caratteristica resistente** dell'impianto (curva **b**)

Caratteristiche funzionali



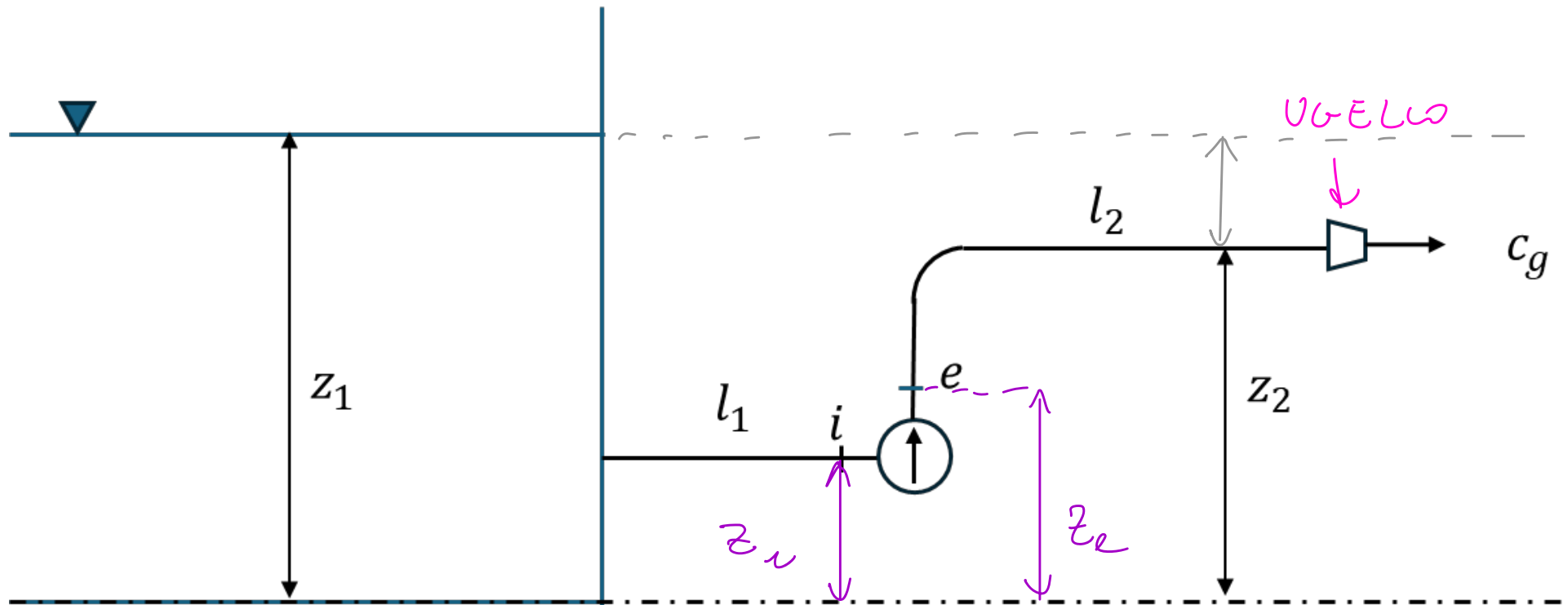
- Al variare del grado di apertura della saracinesca S cambia la caratteristica resistente dell'impianto, e con essa le condizioni di esercizio $B1$, $B2$, $B3$, ... della pompa



Esercizi

Esercizio: Curva caratteristica e caratteristica resistente

Si consideri il circuito riportato in figura in cui una pompa aspira portata da un serbatoio e la invia ad ugello



Esercizio: Curva caratteristica e caratteristica resistente

Siano:

- $z_1 = 5 \text{ m}$ la quota del pelo libero del serbatoio
- $z_2 = 2,5 \text{ m}$ la quota dell'asse dell'ugello
- $z_i = 1,5 \text{ m}$ la quota della sezione i all'aspirazione della pompa
- $z_e = 2 \text{ m}$ la quota della sezione e alla mandata della pompa
- $l_1 = 10 \text{ m}$ e $l_2 = 15 \text{ m}$ le lunghezze delle tubazioni all'aspirazione e alla mandata, entrambe di diametro $d_1 = d_2 = 0,12 \text{ m}$.
- $d_g = 0,05 \text{ m}$ il diametro della sezione di uscita dell'ugello

Si consideri per le perdite continue un coefficiente di perdita f pari a 0,02 e per le perdite localizzate i seguenti coefficienti di perdita:

- 0,5 (perdita di imbocco)
- 2 (perdite al gomito)
- 0.13 (perdita all'ugello)

Esercizio: Curva caratteristica e caratteristica resistente

Determinare:

- 1) la caratteristica resistente del circuito
- 2) la prevalenza della pompa (energia totale specifica espressa in metri) e la potenza richiesta per la portata $Q_v = 0,034 \text{ m}^3/\text{s}$, assunto per il rendimento $\eta_{id} = 0,76$
- 3) calcolare l'altezza statica e l'altezza totale all'aspirazione e alla mandata (sezioni i ed e)

CARAT. RES

$$h_r = h_g + \underbrace{\left(0,5 \frac{C^2}{2g}\right)}_{\text{117B}} + \underbrace{\sum K \frac{C^2}{2g}}_{\text{GOMITI, VALVOLE, ECC}} + \underbrace{\sum f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{C^2}{2g}}_{\text{PERD. COND.}} + \underbrace{\frac{C^2}{2g}}_{\text{SBocco}}$$

REND IDRAULICO

$$\eta_{id} = \frac{Q_{mi} \cdot g \cdot h}{P_{elb}} = \frac{\rho Q_v \cdot g \cdot h}{P_{elb}}$$

$$P_{elb} = \tau \cdot \omega = \tau \cdot \frac{2\pi n}{60}$$

$$g h = \frac{P_e^o}{\rho} - \frac{P_i^o}{\rho} = \left(\frac{P_e}{\rho} + \frac{C_e^2}{2} + g z_e \right) - \left(\frac{P_i}{\rho} + \frac{C_i^2}{2} + g z_i \right)$$

$$P_{elb} = \underbrace{\rho Q_v g h}_{\text{minimo pot. richiesta dal vano di compressione da } P_i^o \text{ a } P_e^o} + \underbrace{\rho Q_v (u_e - u_i)}_{\text{degradazione di energia meccanica}}$$

minimo pot.
richiesta dal
vano di compressione
da P_i^o a P_e^o

degradazione di energia
meccanica

RISOLUZIONE

1) CURVA RES.

$$h_r = h_g + \sum h_{PERSE}$$

$$h_g = \text{diff tra i peli liberi del bacino di opera scavo} \\ = z_2 - z_1 = 2,5 - 5 = -2,5 \text{ m}$$

DET. LE PERDITE

$$\begin{aligned}\sum h_{PERSE} &= h_{INBOCCA} + h_{GOVITO} + h_{UGELLO} + h_{SBocca} + \\ &+ f \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{C_1^2}{2g} + f \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{C_2^2}{2g} \\ &= 0,5 \frac{C_1^2}{2g} + 2 \frac{C_2^2}{2g} + 0,13 \frac{C_g^2}{2g} + 1 \cdot \frac{C_g^2}{2g} + \\ &+ f \cdot \frac{l_1}{d} \cdot \frac{C_1^2}{2g} + f \cdot \frac{l_2}{d} \cdot \frac{C_2^2}{2g}\end{aligned}$$

dove $d = d_1 = d_2$

le C_1, C_2, C_g non le conosco anche se so che

$$C = \frac{Q_v}{A}$$

PURTROPPO DEVO PROCEDERE CON UNA RISOLUZIONE LETTERALE

$$\begin{aligned}h_r &= (z_2 - z_1) + 0,5 \cdot \frac{1}{2g} \cdot \frac{Q_v^2}{A_1^2} + f \frac{l_1}{d_1} \frac{1}{2g} \cdot \frac{Q_v^2}{A_1^2} + \\ &+ 2 \cdot \frac{1}{2g} \cdot \frac{Q_v^2}{A_2^2} + f \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{1}{2g} \cdot \frac{Q_v^2}{A_2^2} + \\ &+ (0,13 + 1) \cdot \frac{1}{2g} \cdot \frac{Q_v^2}{A_g^2}\end{aligned}$$

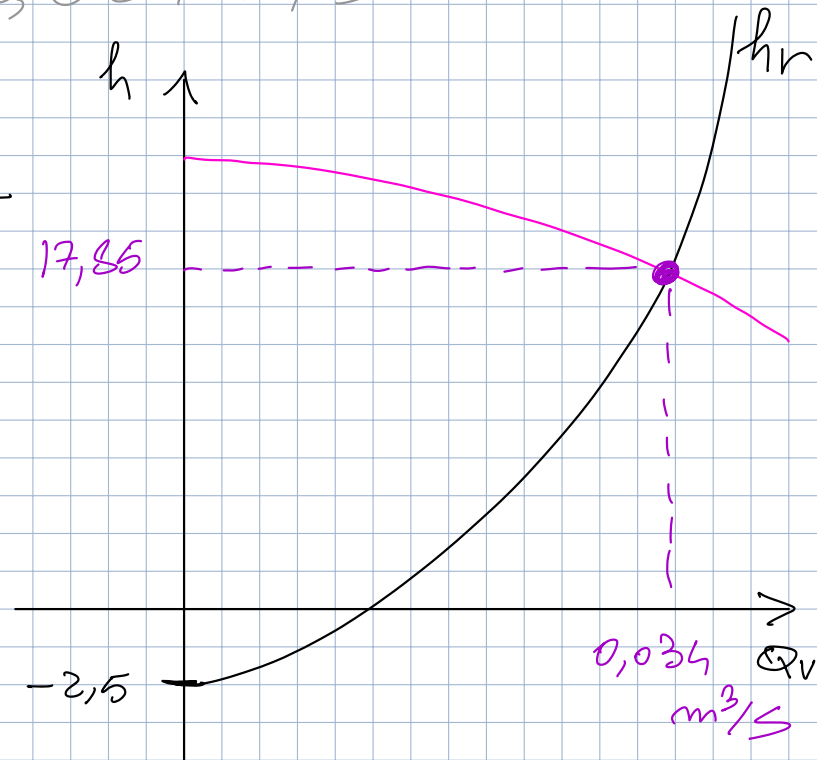
$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,12^2}{4} = 0,01131 \text{ m}^2$$

$$A_g = \frac{\pi d_g^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} = 0,001963 \text{ m}^2$$

$$h_r = -2,5 + 17602,82 Q_v^2$$

PER TROVARE LA CURVA RESISTENTE → TABELLA
SAPEENDO CHE $Q_v = 0,034 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_v [\text{m}^3/\text{s}]$	$h_r [\text{m}]$
0	-2,5
0,01	-0,74
0,02	4,54
0,03	13,34
0,034	17,85
0,04	25,66
0,05	41,51



PREVALENZA DELLA POMPA a $0,034 \text{ m}^3/\text{s}$
 $h = h_r(0,034 \text{ m}^3/\text{s}) = 17,85 \text{ m}$

POTENZA DELLA MACCHINA $\eta_{rd} = \frac{\rho Q_v g h}{P_{elb}}$

$$\eta_{rd} = \frac{1000 \cdot 0,034 \cdot 9,81 \cdot 17,85}{P_{elb}} \quad \text{siccome } \eta_{rd} = 0,76$$

$$P_{elb} = 7833 \text{ W} = 7,83 \text{ kW}$$

CALCOLARE L'ALTEZZA STATICA e TOTALE in i ed e
 PARTIAMO DA (i) ⇒ APPLICO BERMULLI ⇒
 PELO LIBERO SERBATOIO e SEZ i DELLA
 MACCHINA

$$z_1 = \frac{p_i}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g} + z_1 + 0,5 \frac{c_1^2}{2g} + f \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{c_1^2}{2g}$$

$$= h_u^0 + h_{r, \text{INB}} + h_{\text{conv}} \textcircled{1}$$

VI RICORDO CHE $C_u = C_1 = \frac{Q_v}{A_1} = \frac{0,034}{0,01131} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$h_u^0 = z_1 - h_{r, \text{INB}} - h_{\text{conv}} \textcircled{1}$$

$$= 0,5 - 0,5 \frac{3^2}{2 \cdot 9,81} - 0,02 \cdot \frac{10}{0,12} \cdot \frac{3^2}{2 \cdot 9,81} = 4 \text{ m}$$

$$h_u = \frac{p_i}{\rho g} = h_u^0 - \frac{c_u^2}{2g} - z_i$$

$$= 4 - \frac{3^2}{2 \cdot 9,81} - 1,5 = 2 \text{ m}$$

SEZ DI SCARICO DOVE APPLICO BERNOULLI TRA sez $\textcircled{e}$ e lo spondo

RICORDARE CHE $C_2 = C_e$ ma sono $\neq C_g$

$$= \frac{Q_v}{A_2} = 3 \text{ m/s}$$

$$C_g = \frac{Q_v}{A_g} = \frac{0,034}{\frac{\pi \cdot 0,05^2}{4}} = 17,32 \text{ m/s}$$

$$h_e^0 = \frac{p_e}{\rho g} + \frac{c_e^2}{2g} + z_e$$

$$= h_{r, \text{gonito}} + h_{r, \text{DIST}} + h_{\text{ALLO SCARICO}} + z_2$$

$$= 2 \cdot \frac{c_2^2}{2 \cdot 9,81} + f \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{c_2^2}{2g} + (0,13 + 1) \frac{c_g^2}{2g} + z_2$$

$$= 21,85 \text{ m}$$

$$h_e = \frac{P_e}{\rho g} = h_e^0 - z_e - \frac{c_e^2}{2g} = 19,38 \text{ m}$$

$$h_e^0 - h_u^0 = 21,84 - 4 = 17,84 \text{ m} = h_r = h_{\text{quota}}$$

$$Q_v = 0,034 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$g h = \frac{P_e^0}{\rho} - \frac{P_u^0}{\rho}$$

$$h = \frac{P_e^0}{\rho g} - \frac{P_u^0}{\rho g} = h_e^0 - h_u^0 \quad [\text{m}]$$

TURBO IMU L_1
TURBO USC L_2

$$\Rightarrow L_{eq} = L_3$$

$$f_1 \cdot \frac{L_1}{d_1} \cdot \frac{c_1^2}{2g} + f_2 \cdot \frac{L_2}{d_2} \cdot \frac{c_2^2}{2g} = f_{eq} \cdot \frac{L_{eq}}{d_{eq}} \cdot \frac{c_{eq}^2}{2g}$$

Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

PROF. ING. ALBERTO BENATO, PH.D.

ASSOCIATE PROFESSOR

TURBOMACHINERY & ENERGY SYSTEMS GROUP

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING - UNIVERSITY OF PADOVA
VIA VENEZIA 1 - 35131 - PADOVA
BLDG. EX DIM - 5TH FLOOR - ROOM 19

TEL. 049 827 6752

MAIL: ALBERTO.BENATO@UNIPD.IT

WEBSITE: RESEARCH.DII.UNIPD.IT/TES/

