

# **CAPITOLO 5**

# **IDRAULICA**

## **FLUIDODINAMICA**

STUDIA I FLUIDI, IL LORO EQUILIBRIO E IL LORO MOVIMENTO

### **FLUIDO**

CORPO MATERIALE CHE, A CAUSA DELLA ELEVATA MOBILITA' DELLE PARTICELLE CHE LO COMPONGONO, PUO' SUBIRE RILEVANTI VARIAZIONI DI FORMA, SOTTO L'AZIONE DI FORZE DI MINIMA ENTITA'

## **DENSITA' (d oppure $\rho$ )**

ESPRIME LA MASSA CONTENUTA NELL'UNITA' DI VOLUME

NEL S.I. SI MISURA IN  $\text{kg/m}^3$

DIPENDE DA PRESSIONE E TEMPERATURA (PER I LIQUIDI LA DIPENDENZA DALLA PRESSIONE E' MOLTO RIDOTTA)

## **PESO SPECIFICO ( $\gamma$ )**

ESPRIME IL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME

NEL S.I. SI MISURA IN  $\text{Newton/m}^3$

$$\gamma = g d$$

## **TIPI DI FLUIDO**

### **LIQUIDO**

FLUIDO CHE OPPONE GRANDE RESISTENZA ALLE VARIAZIONI DI VOLUME

E', INOLTRE, PESANTE (PESO SPECIFICO ELEVATO)

LIQUIDO = FLUIDO PESANTE INCOMPRESSIBILE

### **GAS**

FLUIDO CHE SOTTO L'AZIONE DI FORZE DI MODESTA ENTITA' PUÒ SUBIRE RILEVANTI VARIAZIONI DI VOLUME

E', INOLTRE, LEGGERO (PESO SPECIFICO TRASCURABILE, IN CONFRONTO A QUELLO DEI LIQUIDI)

GAS = FLUIDO LEGGERO COMPRESSIBILE

## **PRESSIONE (ASSOLUTA)**

FORZA ESERCITATA SULL'UNITA' DI SUPERFICIE

$$p = F / A \quad (\text{N/m}^2)$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \quad (\text{Pascal})$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 1,033 \text{ kgp /cm}^2 = 1,033 \times 9,81 \text{ N/cm}^2 \times 10.000 \text{ cm}^2/\text{m}^2 = \\ &= 101.300 \text{ N/m}^2 = 101.300 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa} \approx 1 \text{ atm}$$

$$1 \text{ atm} = 10,33 \text{ m c.a.} = 760 \text{ mm Hg}$$

## PRESSIONE RELATIVA

DIFFERENZA FRA PRESSIONE ASSOLUTA E PRESSIONE ATMOSFERICA

1 ata = 1 atm assoluta

$p \text{ (ate)} = p \text{ (ata)} - 1 \text{ atm}$

ESEMPIO:

PRESSIONE ASSOLUTA = 17,5 ata

PRESSIONE RELATIVA = 16,5 ate

CON BUONA APPROSSIMAZIONE LE STESSE PRESSIONI SI POSSONO ESPRIMERE CON LO STESSO VALORE NUMERICO ANCHE IN BAR (ASS. OPPURE REL.)

PRESSIONE ASSOLUTA = 17,5 ata  $\approx$  17,5 bar ass.

PRESSIONE RELATIVA = 16,5 ate  $\approx$  16,5 bar rel.

## **COMPORTAMENTO DEI FLUIDI**

TUTTI I FLUIDI (SIA I LIQUIDI, SIA I GAS) NON SOPPORTANO SFORZI DI TRAZIONE

POSSONO QUINDI SOPPORTARE UNA COMPRESSIONE, CON PRESSIONE POSITIVA, MA NON POSSONO ESSERE DEFORMATI O SPOSTATI APPLICANDO UNA PRESSIONE NEGATIVA

# **IDRAULICA**

STUDIA I LIQUIDI, IL LORO EQUILIBRIO E IL LORO  
MOVIMENTO



## **STATICA DEI FLUIDI**

STUDIA I FLUIDI IN QUIETE (LE PARTICELLE NON SUBISCONO ALCUN SPOSTAMENTO RELATIVO NEL TEMPO)

## **STATICA DEI FLUIDI PESANTI INCOMPRIMIBILI**

STUDIA I LIQUIDI IN QUIETE SOGGETTI UNICAMENTE ALL'AZIONE DEL CAMPO GRAVITAZIONALE

PESANTE = PESO SPECIFICO ELEVATO

INCOMPRIMIBILE = LA DENSITA' E' COSTANTE



# LEGGE DI STEVIN

**$Z =$  ALTEZZA GEODETICA**

ENERGIA POTENZIALE PER UNITA' DI PESO

**$p / \gamma =$  ALTEZZA PIEZOMETRICA**

ENERGIA DI PRESSIONE PER UNITA' DI PESO

**$z + p / \gamma =$  QUOTA PIEZOMETRICA**

ENERGIA TOTALE PER UNITA' DI PESO

## LEGGE DI STEVIN

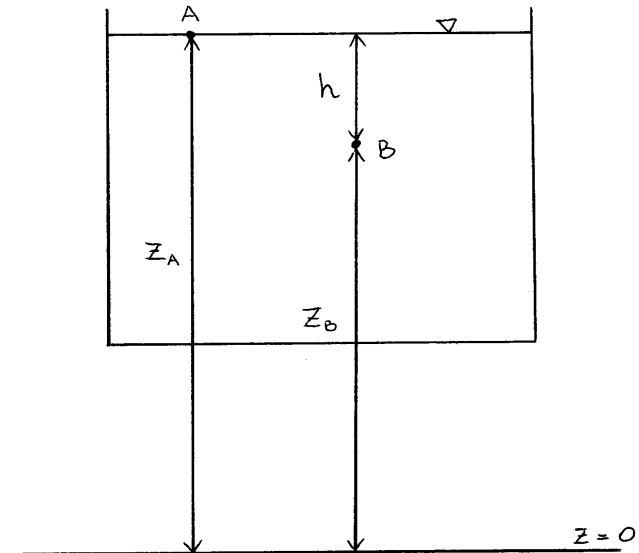
- **PIANO DEI CARICHI IDROSTATICI**  
LA PRESSIONE E' PARI ALLA PRESSIONE ATMOSFERICA (LA PRESSIONE RELATIVA E' NULLA)
- **PIANO DEI CARICHI IDROSTATICI ASSOLUTO**  
LA PRESSIONE ASSOLUTA E' NULLA
- A TUTTI I PUNTI DI UN FLUIDO PESANTE INCOMPRESSIBILE  
COMPETE LA STESSA QUOTA PIEZOMETRICA
- LE SUPERFICI ISOBARICHE SONO PIANI ORIZZONTALI
- LA SUPERFICIE LIBERA DI SEPARAZIONE FRA DUE FLUIDI SI  
DISPONE SEMPRE SECONDO UN PIANO ORIZZONTALE

## LEGGE DI STEVIN

$$z_A + p_A / \gamma = z_B + p_B / \gamma$$

$$p_A = p_{ATM}$$

$$p_B = p_{ATM} + (z_A - z_B) \times \gamma = p_{ATM} + \gamma h$$

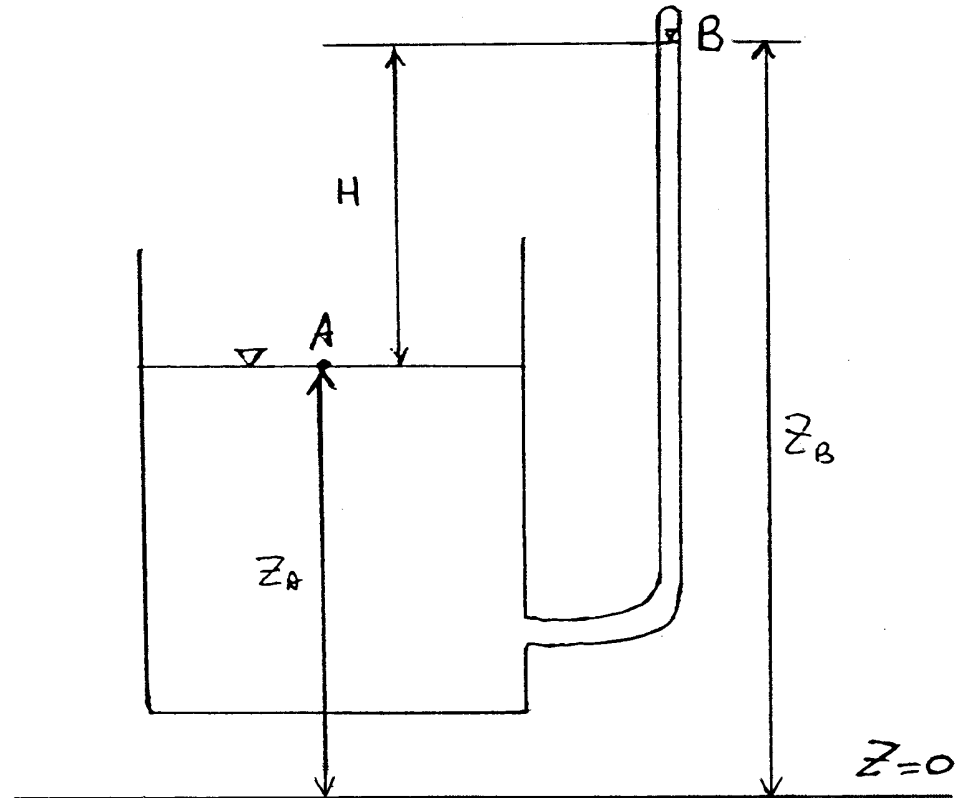


## LEGGES DI STEVIN

$$z_A + p_A / \gamma = z_B + p_B / \gamma$$

$$p_A = p_{ATM} \quad p_B = 0$$

$$z_B - z_A = H = p_{ATM} / \gamma$$



IL FLUIDO PUO' SALIRE AL MASSIMO ALLA QUOTA H, DOVE LA PRESSIONE ASSOLUTA E' NULLA, MA NON PUO' ANDARE OLTRE, PERCHE' NON SOPPORTA SFORZI DI TRAZIONE

## **CINEMATICA DEI FLUIDI**

STUDIA IL MOVIMENTO DEI FLUIDI

## **DINAMICA DEI FLUIDI**

STUDIA IL COMPORTAMENTO DEI FLUIDI IN MOVIMENTO  
SOTTO L'EFFETTO DI FORZE

## PORTATA

QUANTITA' DI FLUIDO CHE TRANSITA IN UNA SEZIONE  
NELL'UNITA' DI TEMPO

## PORTATA MASSICA

$$G = m / t \quad (\text{kg/s})$$

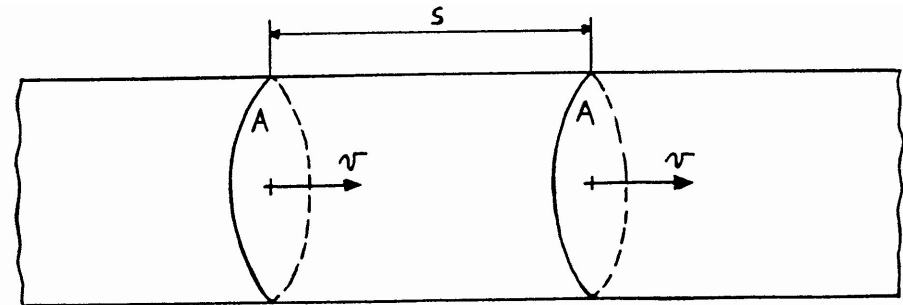
## PORTATA VOLUMETRICA

$$Q = V / t = (m/d) / t = G / d \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$Q = V / t = (A \times s) / t = A \times v \quad (\text{AREA} \times \text{VELOCITA'})$$

$$\text{m}^2 \times \text{m/s} = \text{m}^3 / \text{s}$$

$$G = Q d$$





## MOTO PERMANENTE

LE VARIE GRANDEZZE, IN UN PUNTO, NON CAMBIANO NEL TEMPO

LA PORTATA E' COSTANTE NEL TEMPO, PERCHE':  $Q = A \times v$  , PER CUI, NON CAMBIANDO A E  $v$ , RIMANE COSTANTE Q

INOLTRE, POICHE' E' COSTANTE LA MASSA TOTALE DEL SISTEMA, E' ANCHE COSTANTE LA PORTATA IN TUTTI I PUNTI

NEL MOTO PERMANENTE, LA PORTATA E' COSTANTE NEL TEMPO E NELLO SPAZIO

## CARICO IDRAULICO TOTALE

$$H = z + p / \gamma + v^2/2g$$

$z$  = ALTEZZA GEODETICA = ENERGIA POSIZIONALE

$p / \gamma$  = ALTEZZA PIEZOMETRICA = ENERGIA DI PRESSIONE

$v^2/2g$  = ALTEZZA CINETICA = ENERGIA CINETICA

$H$  = CARICO IDRAULICO TOTALE = ENERGIA TOTALE

TUTTI I TERMINI SONO ENERGIE PER UNITA' DI PESO

$$m g z / m g = z$$

$$p V / m g = p v / g = p / d g$$

$$\frac{1}{2} m v^2 / m g = v^2 / 2 g$$

## TEOREMA DI BERNOULLI

IPOSTESI:

- FLUIDO PESANTE INCOMPRIMIBILE (LIQUIDO)
- SISTEMA CHIUSO (ASSENZA DI SCAMBI DI MASSA CON L'ESTERNO)
- MOTO PERMANENTE (GRANDEZZE IN OGNI PUNTO COSTANTI NEL TEMPO)
- FLUIDO IDEALE (ASSENZA DI PERDITE PER GLI ATTRITI NEL FLUIDO E TRA FLUIDO E TUBAZIONE)

IN UNA CORRENTE FLUIDA, DOVE SONO VERIFICATE LE SUDDETTE IPOTESI:

$$H = \text{COSTANTE}$$

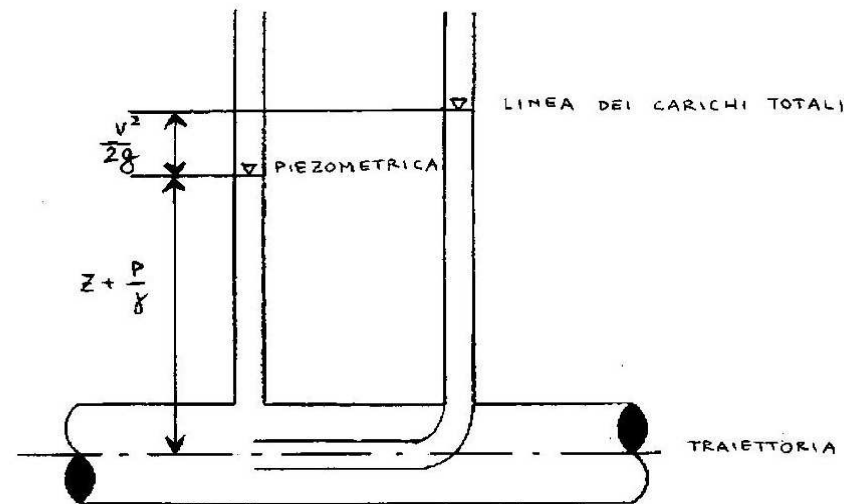
ESPRIME IL PRINCIPIO DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA.



## TEOREMA DI BERNOULLI

IL SECONDO TUBICINO È IN GRADO DI TRASFORMARE IN PRESSIONE ANCHE L'ALTEZZA CINETICA E QUINDI IL FLUIDO ARRIVA ALLA MASSIMA QUOTA POSSIBILE, PARI A TUTTO IL CARICO IDRAULICO H.

IL PRIMO TUBICINO NO E QUINDI IL FLUIDO ARRIVA FINO ALLA QUOTA PIEZOMETRICA.



# PROCESSI DI EFFLUSSO

$$z_A + p_A / \gamma + v_A^2 / 2g = z_B + p_B / \gamma + v_B^2 / 2g$$

$$v_B^2 / 2g = z_A + p_A / \gamma - z_B = h + \delta$$

se  $\delta$  è trascurabile rispetto ad  $h$ :

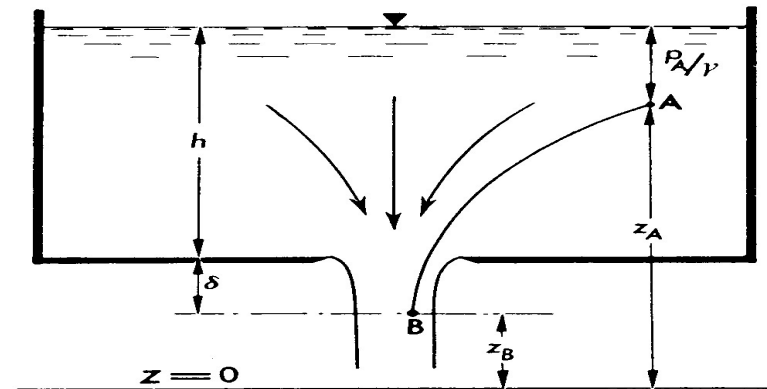
$$v_B = \sqrt{2 g h}$$

area nella sezione contratta:  $A_C = C \times A$

$A$  = area del foro

$C$  = coefficiente di contrazione = 0,6

portata:  $Q = A_C \times v_B$



## **FLUIDI REALI - PERDITE DI CARICO**

NEI FLUIDI REALI, LE PERDITE DI CARICO NEL MOVIMENTO SONO DOVUTE AGLI ATTRITI FRA LE PARTICELLE DEL FLUIDO ED ALLE TURBOLENZE CHE SI CREANO NEI PUNTI PARTICOLARI (CAMBIAMENTI DI SEZIONE, CURVE, INTERSEZIONI FRA DIVERSE CONDOTTE, ETC.)

### **PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE**

SONO DOVUTE AGLI SFORZI TANGENZIALI FRA LE PARTICELLE DEL FLUIDO DURANTE IL MOTO RETTILINEO, PER EFFETTO DELLA VISCOSITA'

### **PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE**

SONO DOVUTE ALLE TURBOLENZE CHE SI CREANO NEI PUNTI PARTICOLARI (CAMBIAMENTI DI SEZIONE, CURVE, ETC.)

# TEOREMA DI BERNOULLI PER FLUIDI REALI

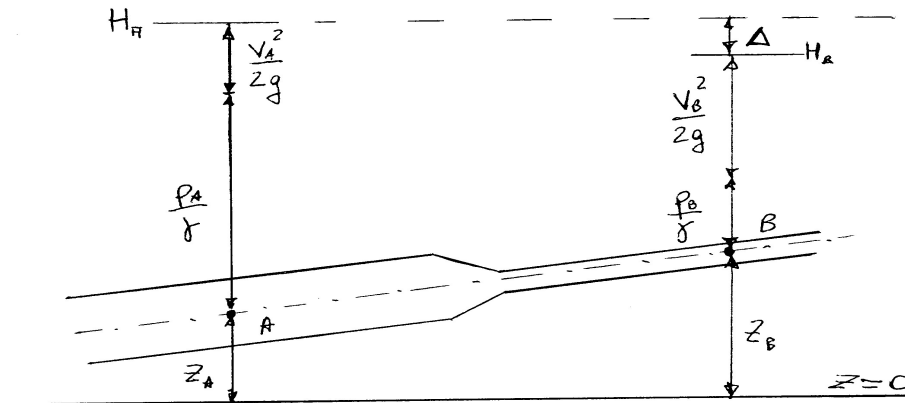
$$z_A + p_A / \gamma + v_A^2 / 2g = z_B + p_B / \gamma + v_B^2 / 2g + \Delta$$

$$H_A = H_B + \Delta$$

$$H_B = H_A - \Delta$$

$\Delta =$  PERDITA DI CARICO FRA A e B

che è un punto più a valle di A rispetto al senso del moto





# CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

## PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE

- ESISTONO FORMULE PER CALCOLARE LA CADENTE J (PERDITA DI CARICO PER UNITA' DI LUNGHEZZA DELLA TUBAZIONE)
- LA PERDITA TOTALE VALE:  $\Delta = J \times L$

# CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

## PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE

- SI POSSONO CALCOLARE ANALITICAMENTE PER OGNI TIPO DI DISCONTINUITA' E CIASCUNA VIENE ESPRESSA COME UNA LUNGHEZZA EQUIVALENTE DI TUBAZIONE DIRITTA, CHE DA' UNA PERDITA DISTRIBUITA COMPLESSIVAMENTE UGUALE ALLA PERDITA LOCALIZZATA CHE SI VUOLE VALUTARE - POI TUTTE QUESTE LUNGHEZZE EQUIVALENTI SI SOMMANO E SI OTTIENE IL TOTALE  $L_{pl}$
- LUNGHEZZA FITTIZIA:  $L_f = L + L_{pl}$
- PERDITA TOTALE:  $\Delta = J \times L_f$
- IN ALTERNATIVA, SI POSSONO ESPRIMERE LE PERDITE LOCALIZZATE TOTALI COME % DELLE PERDITE DISTRIBUITE (DI SOLITO 5-10%) – DETTA  $p$  LA %, SI HA:  
PERDITA TOTALE:  $\Delta = (J \times L) \times (1 + p)$

## CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

### PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE

SI CALCOLANO CON EQUAZIONI DEL TIPO:  $J = k v^2 / D = k' Q^2 / D^5$

LA CADENTE E' PROPORZIONALE ALLA VISCOSITA' DEL FLUIDO ED ALLA RUGOSITA' DELLA TUBAZIONE

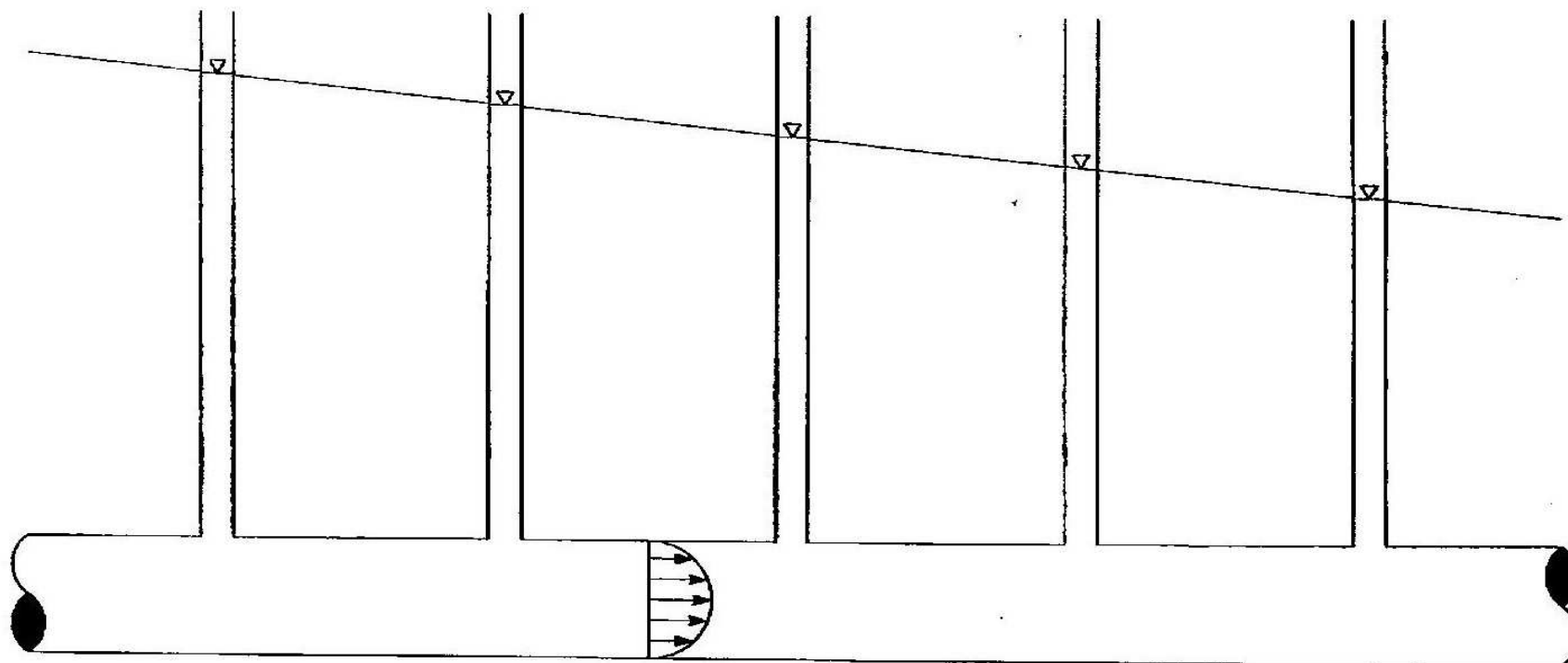
IN GENERALE  $J = F(Q, v, D, \varepsilon, \nu)$

DIPENDE DA:

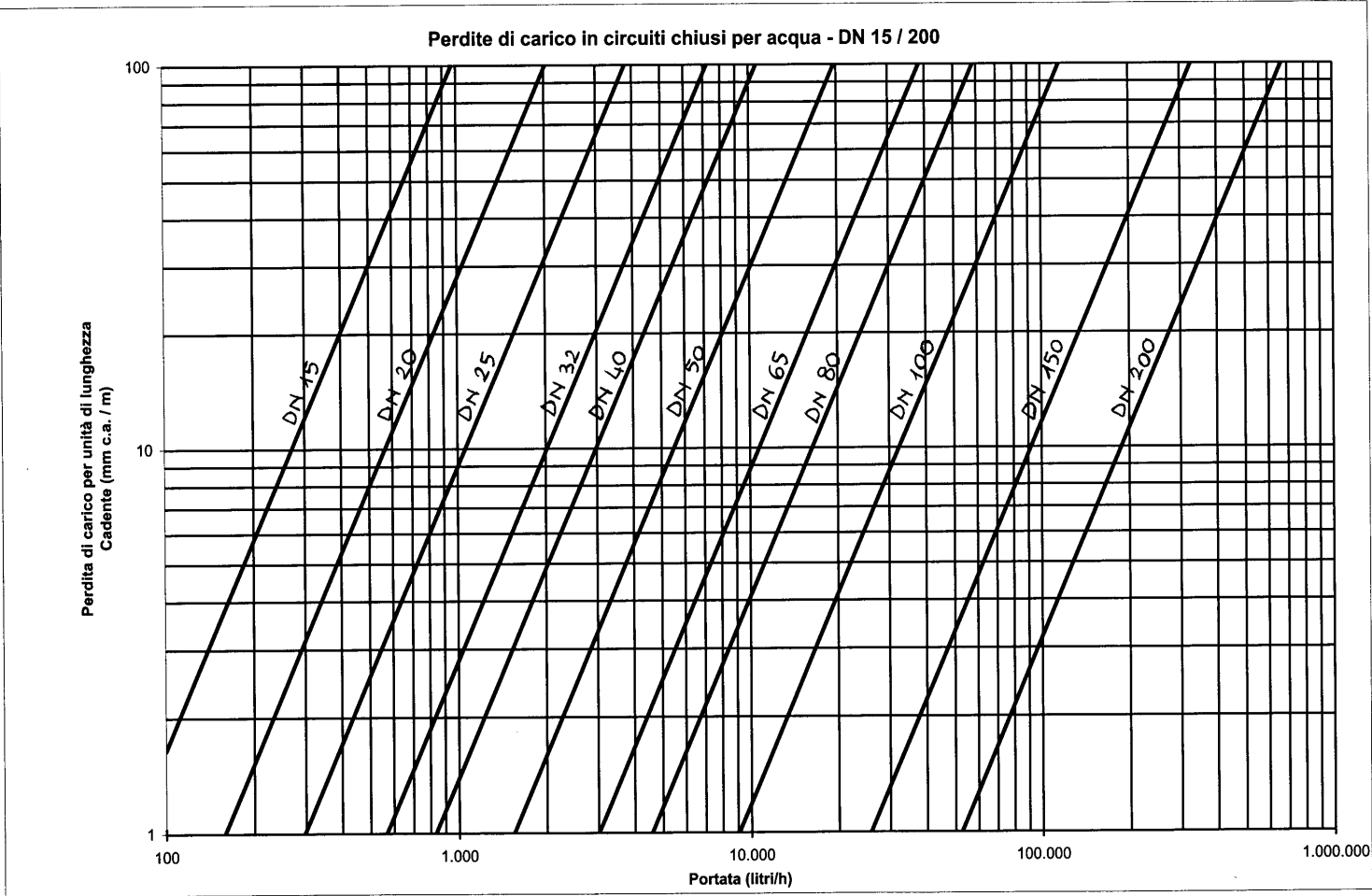
- CARATTERISTICHE DEL MOTO (PORTATA Q, VELOCITA' v)
- CARATTERISTICHE DEL TUBO (DIAMETRO D, RUGOSITA'  $\varepsilon$ )
- CARATTERISTICHE DEL FLUIDO (VISCOSITA'  $\nu$ )

NELLA MAGGIOR PARTE DEI CASI APPLICATIVI SI UTILIZZANO GRAFICI CHE FORNISCONO  $J = F(Q, v, D)$  PER LE TUBAZIONI DI COMUNE IMPIEGO E PER I FLUIDI PIU' IMPORTANTI (ESEMPIO: ACQUA)

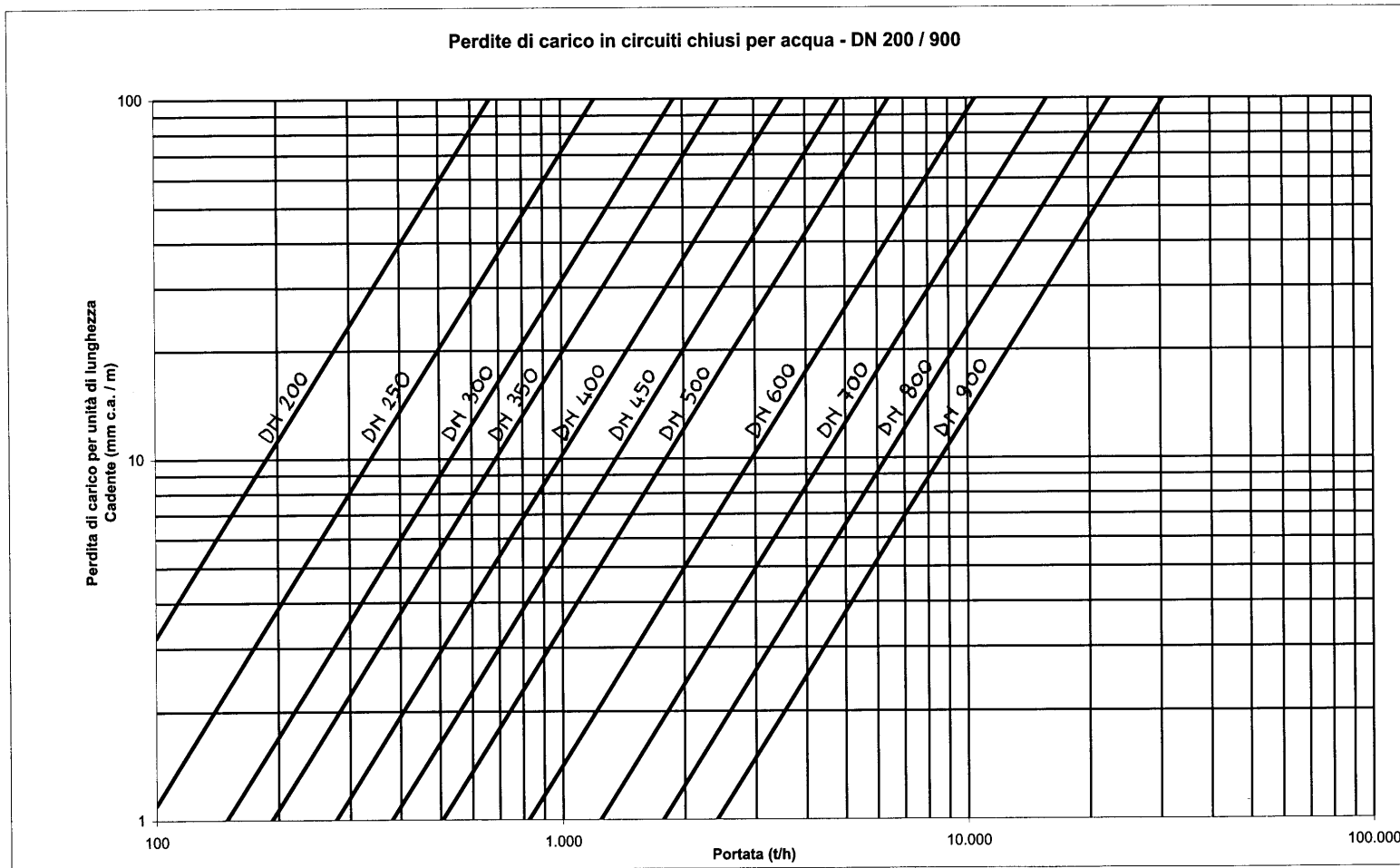
# PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE



# CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO



# CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO



## POTENZA DI UNA CORRENTE IN UNA SEZIONE

IN UN QUALUNQUE PUNTO DI UNA CONDOTTA IN PRESSIONE, DOVE FLUISCE UN FLUIDO CON PORTATA  $Q$ , CARICO TOTALE  $H = z + p/\gamma + v^2/2g$  E PESO SPECIFICO  $\gamma$ , LA POTENZA DELLA CORRENTE FLUIDA VALE:

$$P = E/t = m g H / t = g G H = \gamma Q H$$

PER EFFETTO DELLE PERDITE DI CARICO, CHE FANNO DIMINUIRE IL CARICO TOTALE  $H$ , LA POTENZA DELLA CORRENTE NELLA CONDOTTA DIMINUISCE LUNGO IL SENSO DEL MOTO

LE PERDITE DI CARICO CAUSANO UNA PERDITA DI ENERGIA

## **SCAMBI DI ENERGIA FRA UN FLUIDO E UNA MACCHINA**

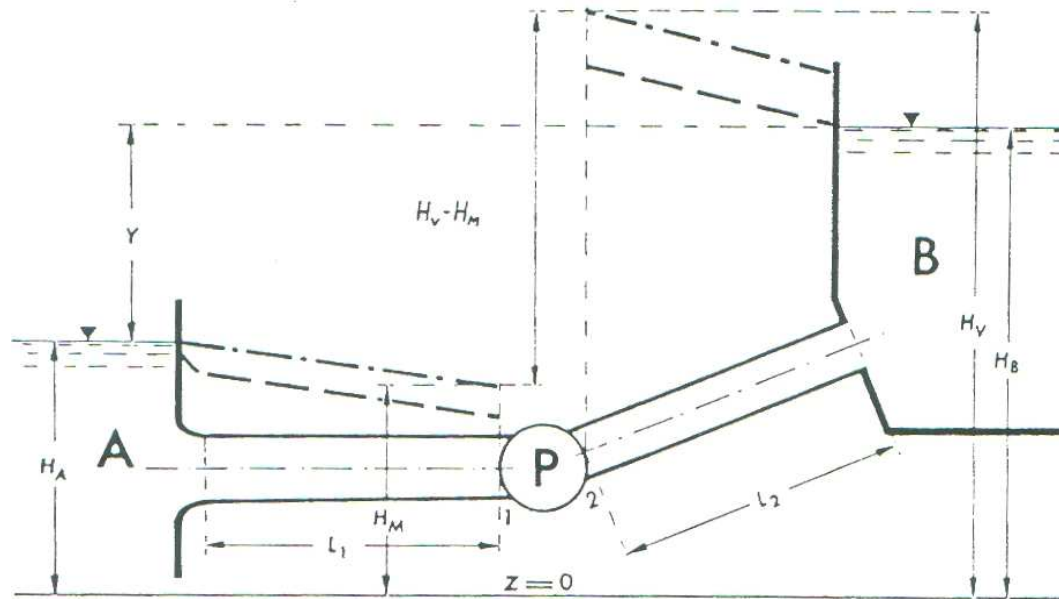
### **POMPA**

MACCHINA OPERATRICE, CHE UTILIZZA L'ENERGIA MECCANICA FORNITA DA UN MOTORE ELETTRICO PER SOLLEVARE UN LIQUIDO INCOMPRESSIBILE O PER FARLO CIRCOLARE IN UNA TUBAZIONE

IN BASE AL MODO IN CUI TRASMETTONO L'ENERGIA AL FLUIDO LE POMPE POSSONO ESSERE SUDDIVISE IN VOLUMETRICHE O CENTRIFUGHE



# POMPA



$H_m$  = carico totale del fluido nella sezione di ingresso della pompa

$H_v$  = carico totale del fluido nella sezione di uscita della pompa

$H = H_v - H_m =$  Prevalenza della pompa

# POTENZA DI UNA POMPA

## POTENZA TEORICA NECESSARIA

$$P_n = \gamma Q (H_v - H_m) = \gamma Q (H_A - H_B + \Delta) = \gamma Q H$$

dove:

$\gamma$  = Peso specifico

Q = Portata

$\Delta$  = Perdite di carico totali (distribuite + localizzate)

IN CIRCUITI CHIUSI:  $P_n = \gamma Q \Delta$

## POTENZA REALE NECESSARIA

$$P = P_n / (\eta_i \times \eta_m \times \eta_e)$$

# POTENZA DI UNA POMPA

## POTENZA IDRAULICA

$$P_i = P_n / \eta_i$$

$\eta_i$  = RENDIMENTO IDRAULICO (70% - 85%)

Tiene conto delle perdite di carico del fluido all'interno della pompa

## POTENZA MECCANICA

$$P_m = P_i / \eta_m$$

$\eta_m$  = RENDIMENTO MECCANICO (90% - 98%)

Tiene conto delle perdite per attrito delle parti mobili della pompa

## POTENZA ELETTRICA ASSORBITA DAL MOTORE

$$P_e = P_m / \eta_e$$

$\eta_e$  = RENDIMENTO ELETTRICO ( 90% - 97%)

Rapporto fra l'energia meccanica all'albero del motore e l'energia elettrica assorbita dallo stesso