

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 ρ)

ESPRIME LA MASSA CONTENUTA NELL'UNITA' DI VOLUME

NEL S.I. SI MISURA IN kg/m^3

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

PESO SPECIFICO (γ)

ESPRIME IL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME

NEL S.I. SI MISURA IN 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 INCOMPRESSIBILI

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

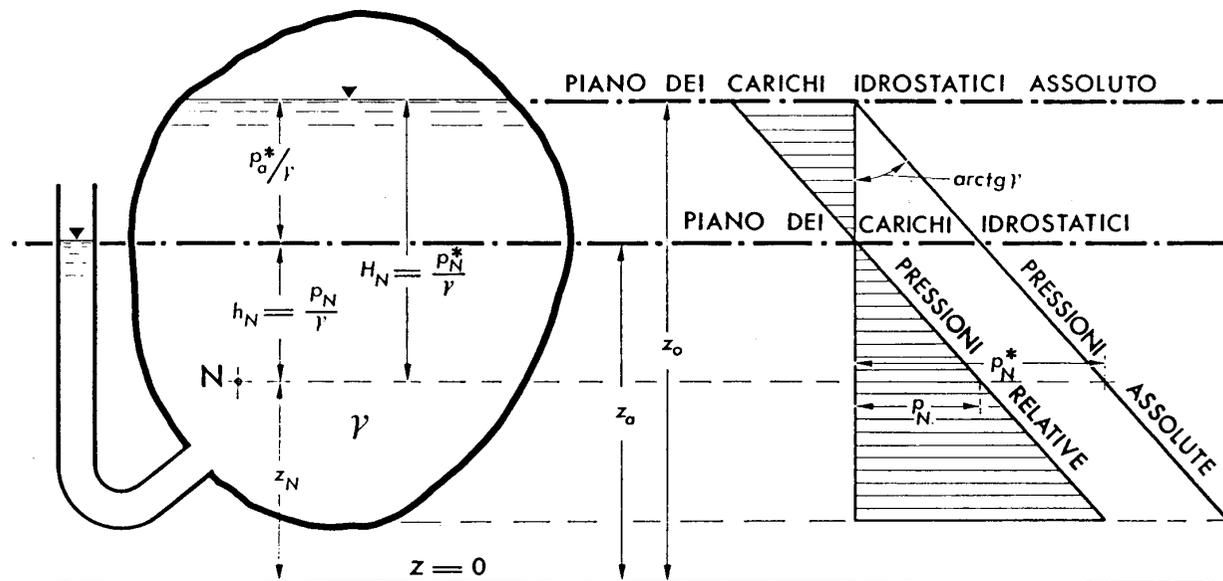
PESANTE = PESO SPECIFICO ELEVATO

INCOMPRESSIBILE = LA DENSITA' E' COSTANTE

LEGGE DI STEVIN

(EQUAZIONE FONDAMENTALE DELLA STATICA DEI FLUIDI PESANTI INCOMPRESSIBILI)

$$z + p / \gamma = \text{costante}$$



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

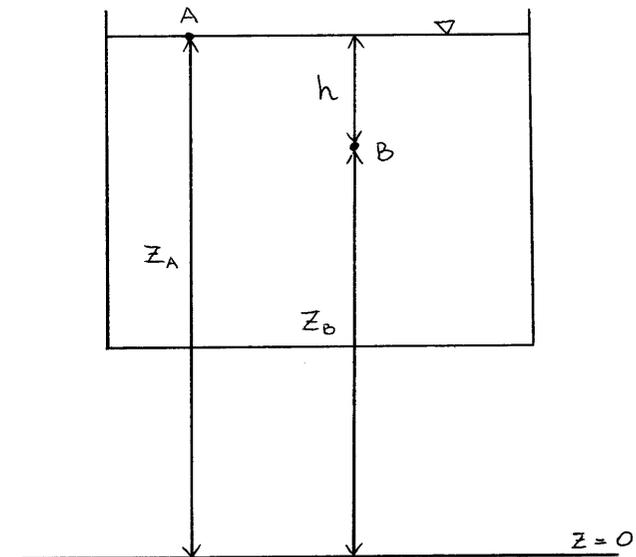
- LA SUPERFICIE LIBERA DI SEPARAZIONE FRA DUE FLUIDI SI
DISPONE SEMPRE SECONDO UN PIANO ORIZZONTALE

LEGGE DI STEVIN

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

$$p_A = p_{ATM}$$

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

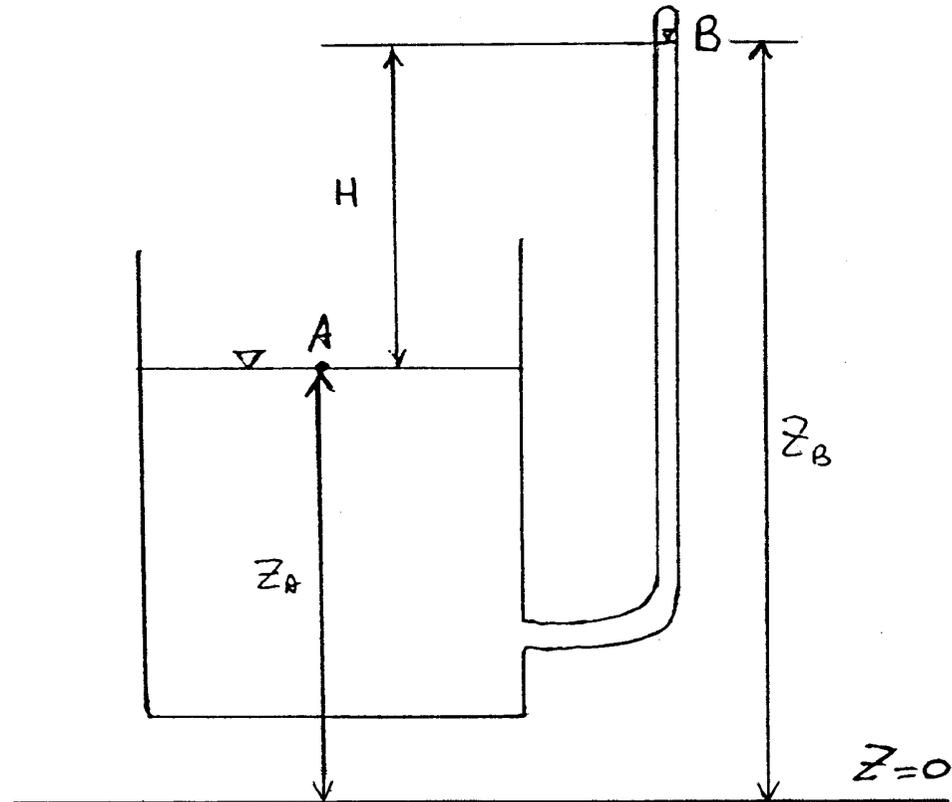


LEGGES DI STEVIN

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

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

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



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

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

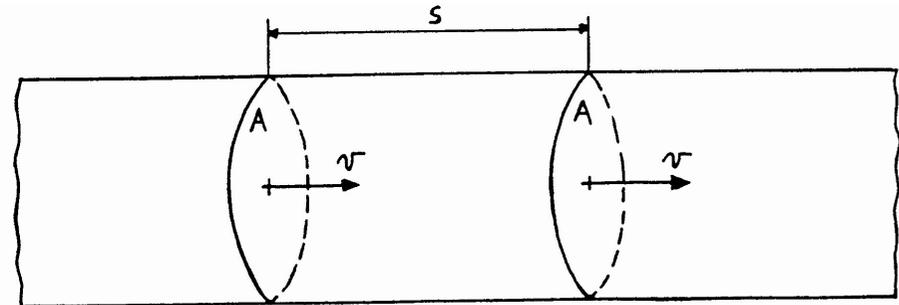
PORTATA VOLUMETRICA

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

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

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

$$G = Q d$$



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 / γ = 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.

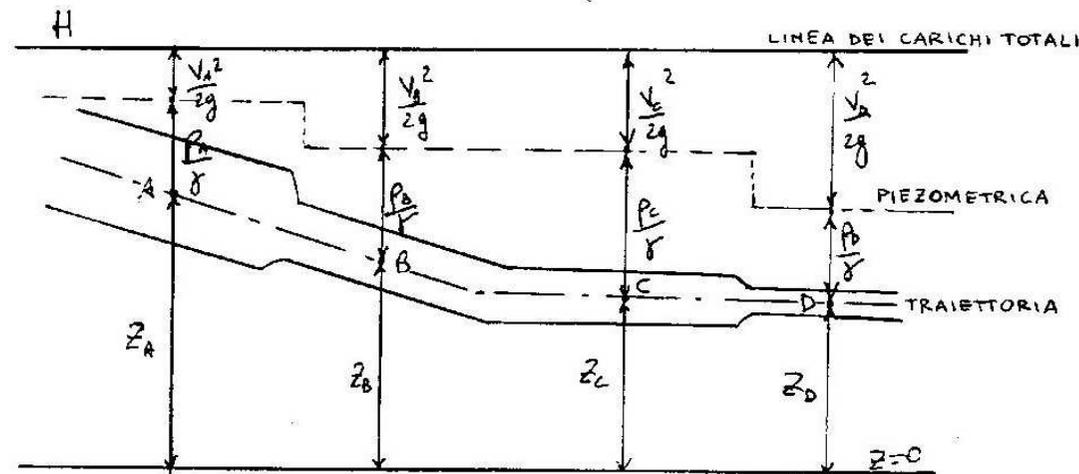
TEOREMA DI BERNOULLI

$$H = z + p / \gamma + v^2 / 2g = \text{costante}$$

POICHE' IL MOTO E' PERMANENTE, $Q = A \times v = \text{COSTANTE}$

DOVE LA SEZIONE A E' MINORE, AUMENTA LA VELOCITA' v E DIMINUISCE LA QUOTA PIEZOMETRICA $z + p / \gamma$

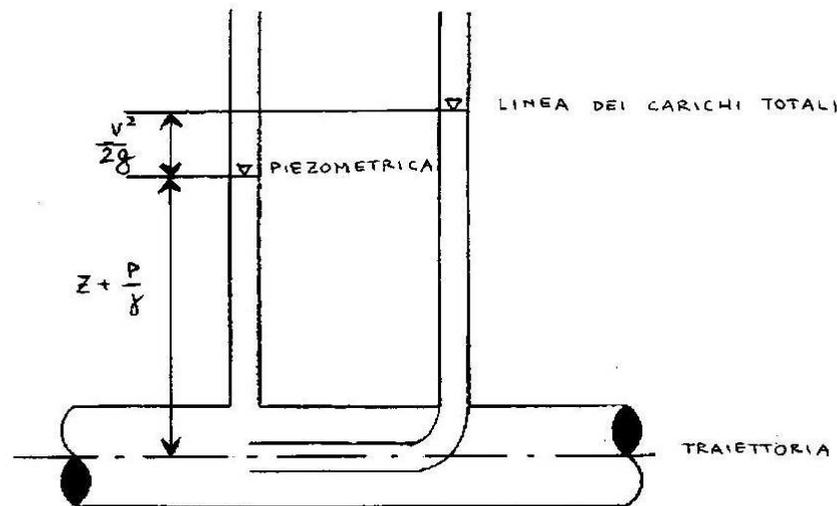
IN TRATTI ORIZZONTALI, SE DIMINUISCE LA SEZIONE DIMINUISCE ANCHE LA PRESSIONE



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 δ è trascurabile rispetto ad h :

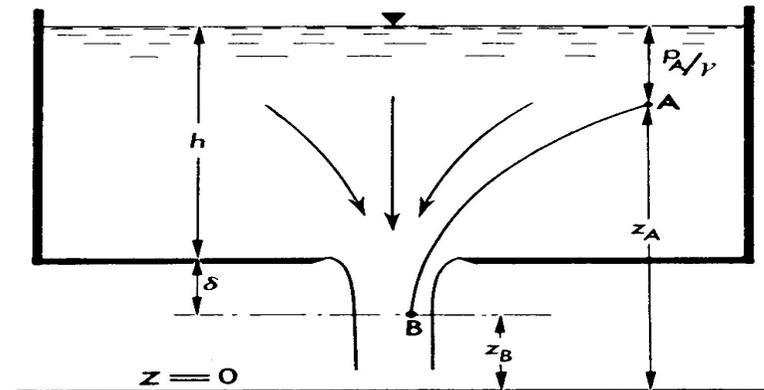
$$v_B = \sqrt{2 g h}$$

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

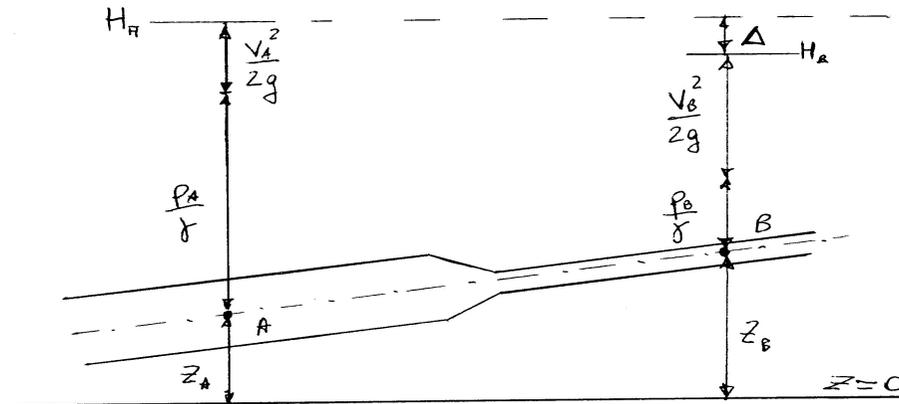
$$z_A + p_A / \gamma + v_A^2 / 2g = z_B + p_B / \gamma + v_B^2 / 2g + \Delta$$

$$H_A = H_B + \Delta$$

$$H_B = H_A - \Delta$$

$\Delta =$ 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

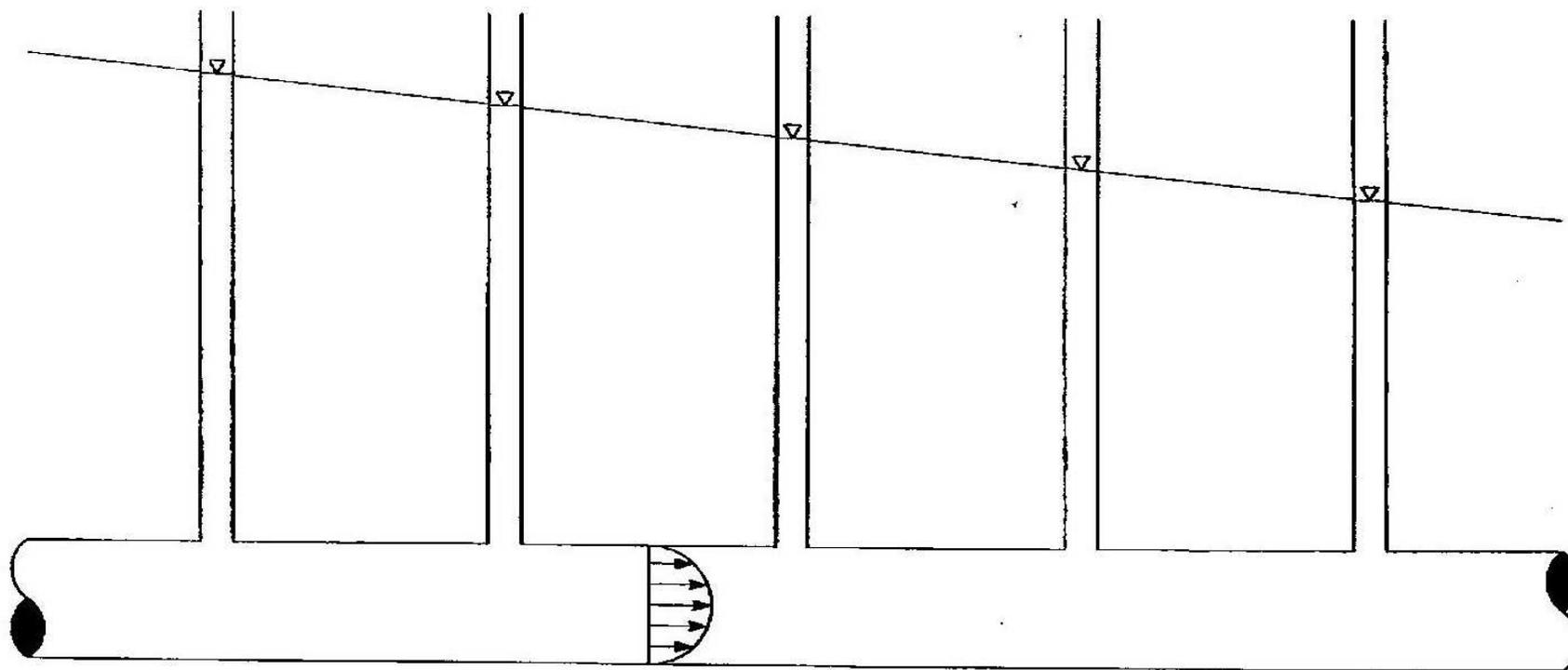
IN GENERALE $J = F(Q, v, D, \varepsilon, \nu)$

DIPENDE DA:

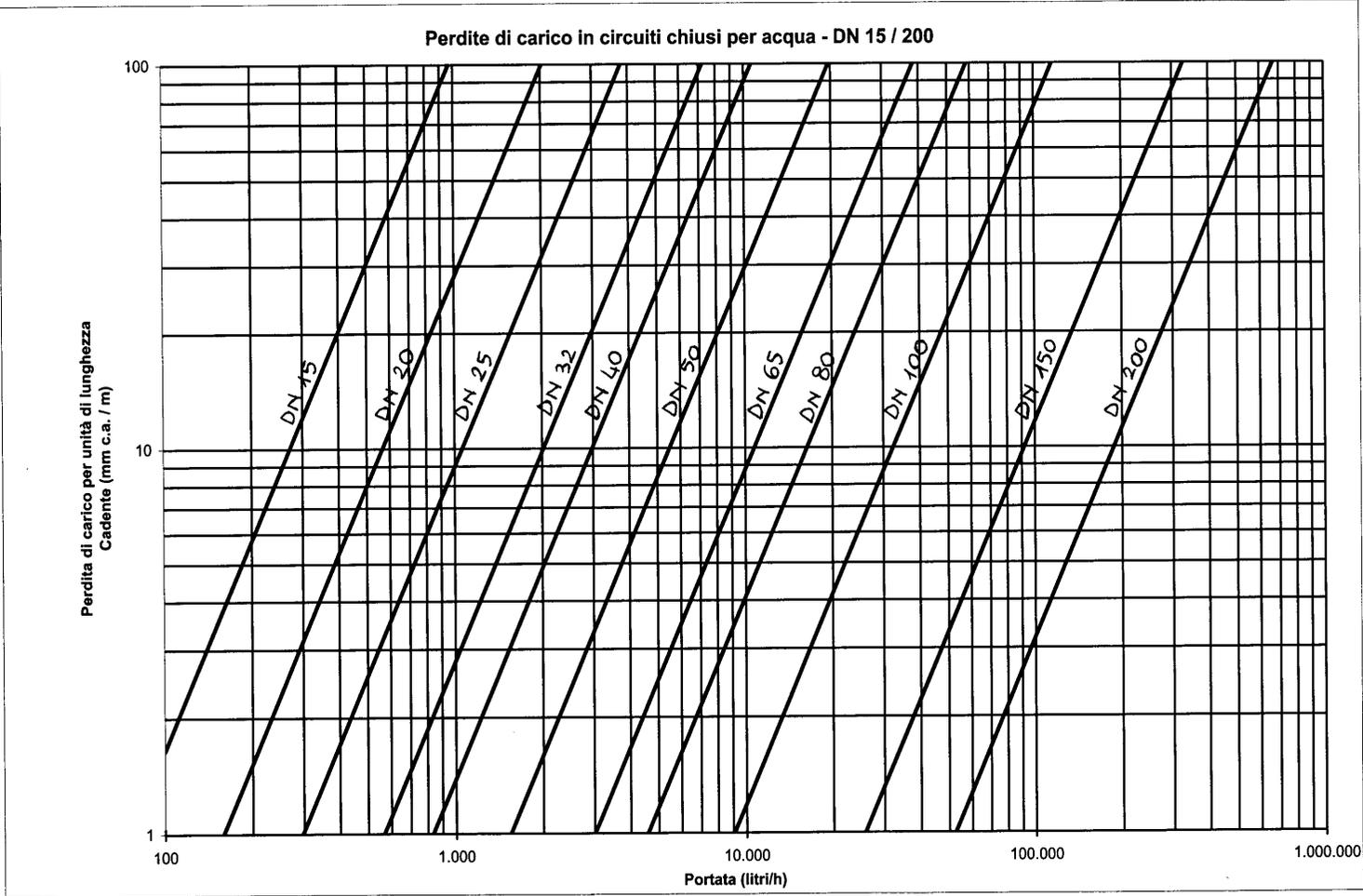
- CARATTERISTICHE DEL MOTO (PORTATA Q, VELOCITA' v)
- CARATTERISTICHE DEL TUBO (DIAMETRO D, RUGOSITA' ε)
- CARATTERISTICHE DEL FLUIDO (VISCOSITA' ν)

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)

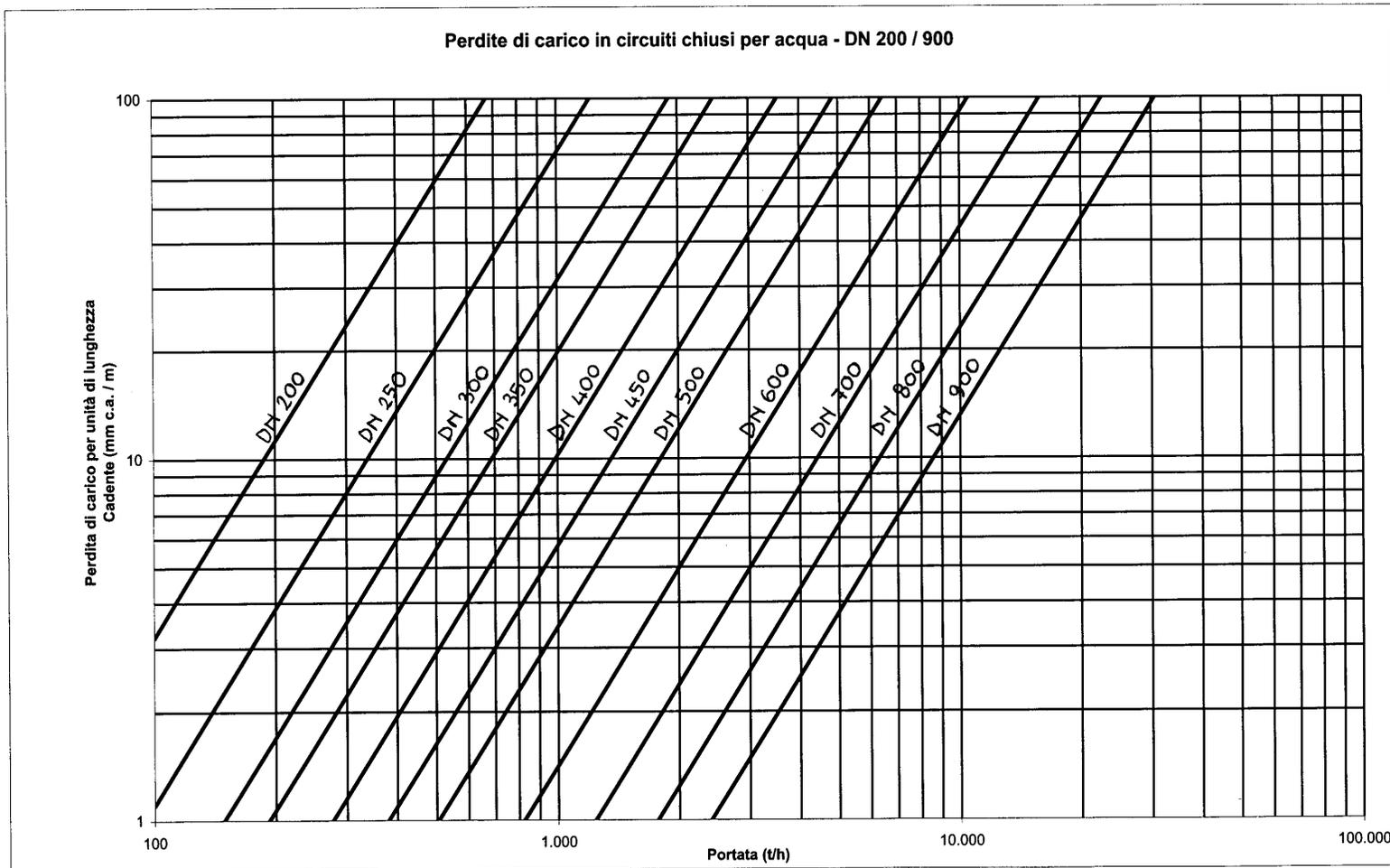
PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE



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 γ , 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

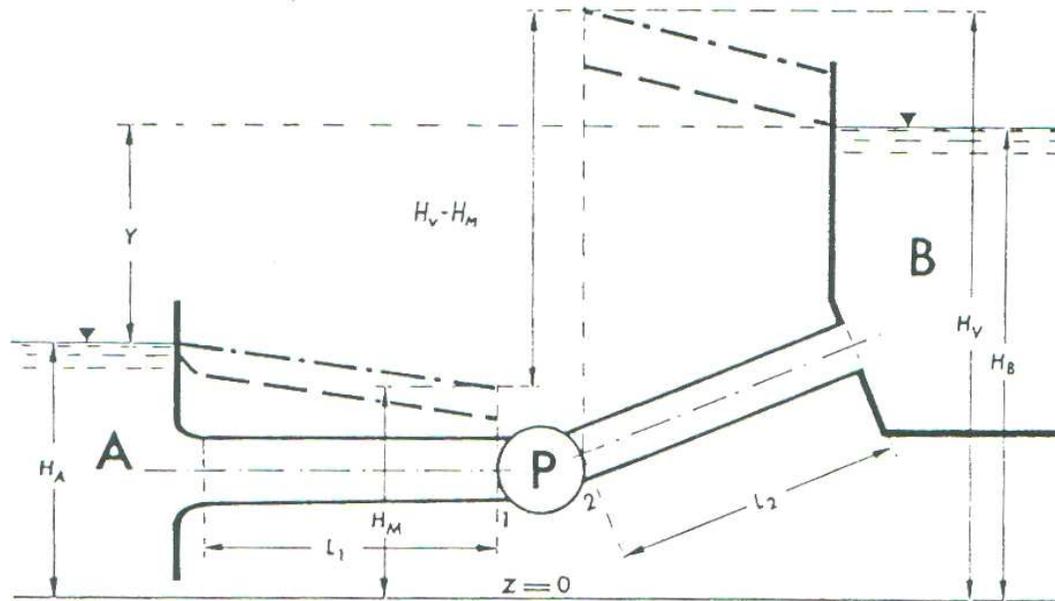
SCAMBI DI ENERGIA FRA UN FLUIDO E UNA MACCHINA

POMPA

MACCHINA OPERATRICE, CHE UTILIZZA L'ENERGIA MECCANICA FORNITA DA UN MOTORE ELETTRICO PER SOLLEVARE UN LIQUIDO INCOMPRIMIBILE 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:

γ = Peso specifico

Q = Portata

Δ = 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

$$P_i = P_n / \eta_i$$

η_i = RENDIMENTO IDRAULICO (70% - 85%)

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

POTENZA MECCANICA

$$P_m = P_i / \eta_m$$

η_m = RENDIMENTO MECCANICO (90% - 98%)

Tiene conto delle perdite per attrito delle parti mobili della pompa

POTENZA ELETTRICA ASSORBITA DAL MOTORE

$$P_e = P_m / \eta_e$$

η_e = RENDIMENTO ELETTRICO (90% - 97%)

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