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 (DENSITA’ ELEVATA)

LIQUIDO = FLUIDO PESANTE INCOMPRIMIBILE

AERIFORME (GAS)

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

E’, INOLTRE, LEGGERO (DENSITA’ TRASCURABILE, IN CONFRONTO A QUELLA DEI LIQUIDI)

AERIFORME / GAS = FLUIDO LEGGERO COMPRIMIBILE

PRESSIONE (ASSOLUTA)

FORZA ESERCITATA SULL'UNITA' DI SUPERFICIE

$p = F / A$ (N/m2)

1 Pa = 1 N/m2 (Pascal)

1 atm = 1,033 kgp /cm2 = 1,033 x 9,81 N/cm2 x 10.000 cm2/m2 =
= 101.300 N/m2= 101.300 Pa

1 bar = 100.000 Pa ≈ 1 atm

1 atm = 10,33 m c.a. = 760 mm Hg

PRESSIONE RELATIVA

DIFFERENZA FRA PRESSIONE ASSOLUTA E PRESSIONE ATMOSFERICA

1 ata = 1 atm assoluta

p (ate) = p (ata) - 1 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 ≈ 17,5 bar ass.
PRESSIONE RELATIVA	= 16,5 ate ≈ 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

VISCOSITA'

ESPRIME L'INTENSITA' CON CUI IL FLUIDO SI OPPONE AGLI SFORZI E ALLE DEFORMAZIONI IN SENSO TANGENZIALE

DIPENDE FORTEMENTE DALLA TEMPERATURA

SOLITAMENTE SI UTILIZZA LA VISCOSITA' CINEMATICA , CHE SI ESPRIME IN m2/s

ALCUNI VALORI DI A 20°C, IN 10-4 m2/s

ARIA	1,09
ACQUA	0,01
GLICERINA	6,35
ALCOL METILICO	0,00746

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

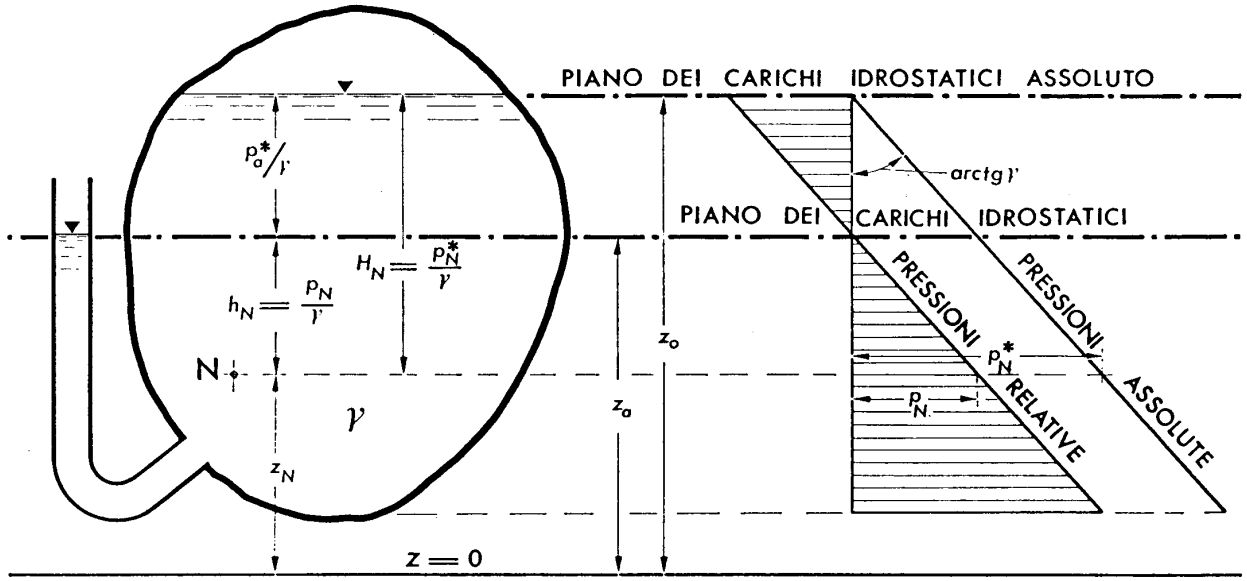
STUDIA I LIQUIDI IN QUIETE SOGGETTI UNICAMENTE ALL'AZIONE DEL CAMPO GRAVITAZIONALE

PESANTE = DENSITA' ELEVATA

INCOMPRIMIBILE = LA DENSITA' E' COSTANTE

LEGGE DI STEVIN
(EQUAZIONE FONDAMENTALE DELLA STATICA DEI FLUIDI PESANTI INCOMPRIMIBILI)

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



LEGGE DI STEVIN

Z = ALTEZZA GEODETICA

ENERGIA POTENZIALE PER UNITA' DI PESO

p / γ = ALTEZZA PIEZOMETRICA

ENERGIA DI PRESSIONE PER UNITA' DI PESO

z + p / γ = 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**

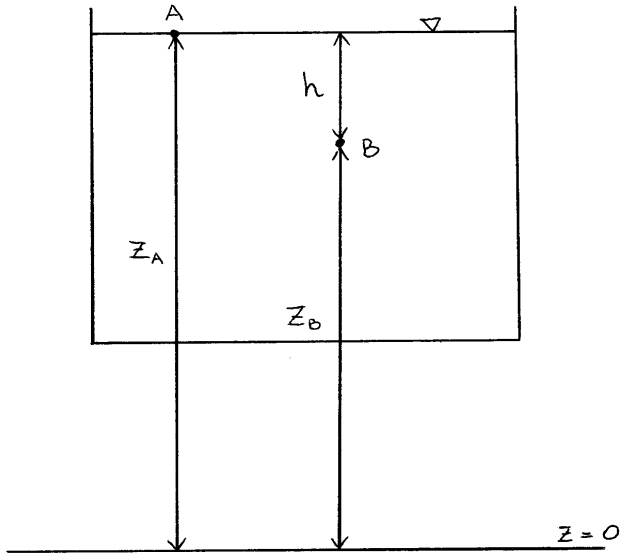
  LA PRESSIONE ASSOLUTA E' NULLA
- A TUTTI I PUNTI DI UN FLUIDO PESANTE INCOMPRIMIBILE COMPETE LA STESSA QUOTA PIEZOMETRICA
- LE SUPERFICI ISOBARICHE SONO PIANI ORIZZONTALI
- LA SUPERFICIE LIBERA DI SEPARAZIONE FRA DUE FLUIDI SI DISPONE SEMPRE SECONDO UN PIANO ORIZZONTALE

LEGGE DI STEVIN

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

$$p_A = p_{ATM}$$

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

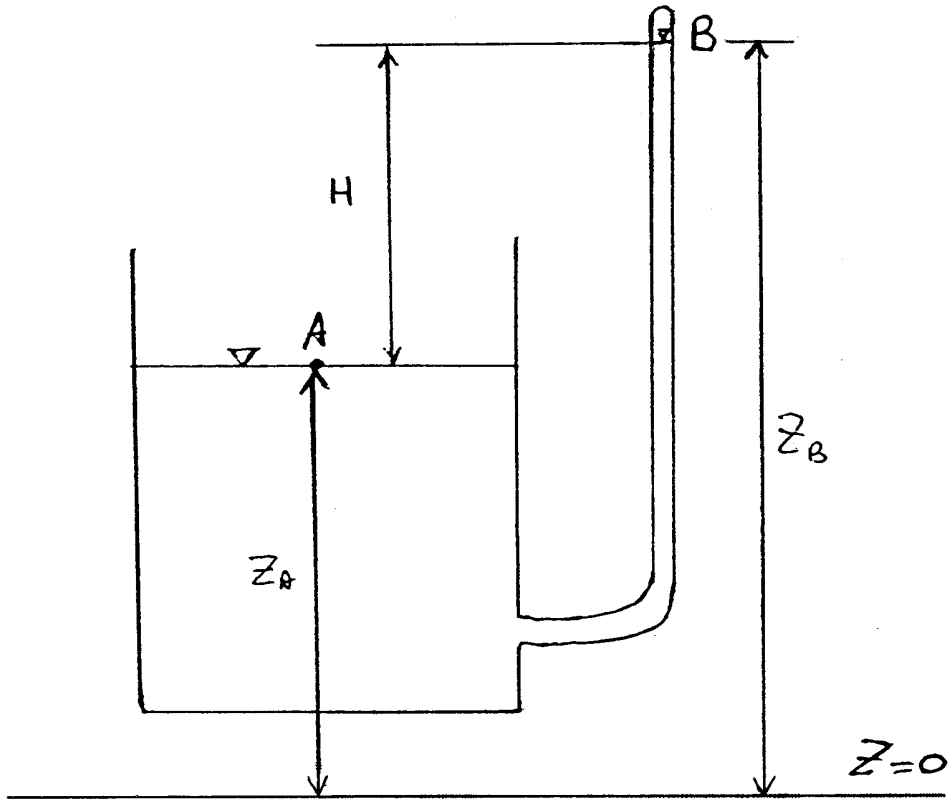


LEGGE DI STEVIN

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

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

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



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

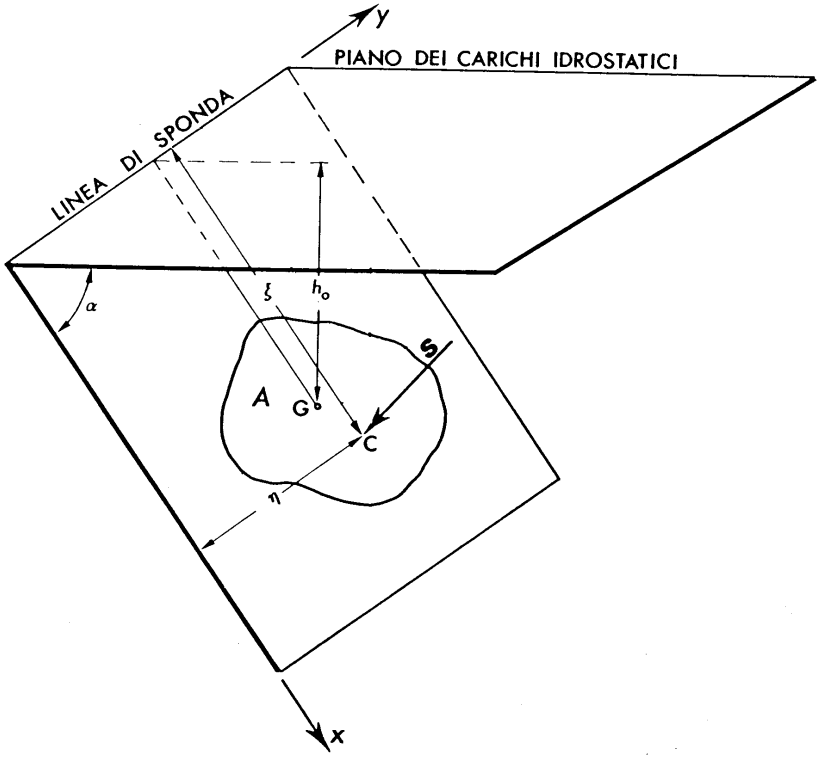
SPINTA SU UNA SUPERFICIE PIANA

LA SPINTA E' SEMPRE DIRETTA PERPENDICOLARMENTE ALLA SUPERFICIE E VALE:

$$S = \gamma h_o A = p_o A$$

G = BARICENTRO DELLA SUPERFICIE BAGNATA

A = AREA BAGNATA



SPINTA SU UNA SUPERFICIE PIANA

RETTA DI SPONDA

RETTA DI INTERSEZIONE FRA IL PIANO CONTENENTE LA SUPERFICIE E IL PIANO DEI CARICHI IDROSTATICI

CENTRO DI SPINTA

PUNTO DI APPLICAZIONE DELLA SPINTA. E' SEMPRE PIU' LONTANO DALLA RETTA DI SPONDA, RISPETTO AL BARICENTRO DELLA SUPERFICIE PREMUTA

PRINCIPIO DI ARCHIMEDE

UN CORPO IMMERSO IN UN LIQUIDO RICEVE UNA SPINTA VERTICALE, DAL BASSO VERSO L'ALTO, DI INTENSITA' PARI AL PESO DI UN VOLUME DI LIQUIDO UGUALE A QUELLO DEL CORPO IMMERSO. LA SPINTA PASSA PER IL BARICENTRO DI TALE VOLUME DI LIQUIDO

PRINCIPIO DI ARCHIMEDE

- d_L = DENSITA' DEL LIQUIDO
- V_L = VOLUME DEL LIQUIDO
- d_C = DENSITA' DEL CORPO
- V_C = VOLUME DEL CORPO
- $P_C = V_C \times d_C$ = PESO DEL CORPO
- $F = V_C \times d_L$ = PESO DEL LIQUIDO SPOSTATO = SPINTA
- CONDIZIONE DI EQUILIBRIO: $P_C = F$
- $V_C \times d_L = V_C \times d_C \quad \rightarrow\rightarrow \quad d_L = d_C$
- SE $d_C < d_L$ IL CORPO GALLEGGIA ED IL VOLUME IMMERSO SI CALCOLA DA: $V_C \times d_C / d_L$
- SE $d_C > d_L$ IL CORPO NON GALLEGGIA (CADE SINO AD APPOGGIARSI SUL FONDO)

CINEMATICA DEI FLUIDI

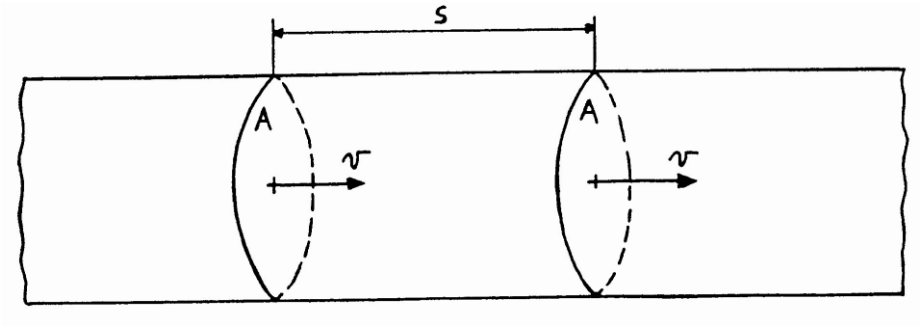
STUDIA IL MOVIMENTO DEI FLUIDI

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 (kg/s)

PORTATA VOLUMETRICA

Q= V / t = (m/d) / t = G / d (m3/s)

Q = V / t = (A x s) / t = A x v (AREA x VELOCITA')

m^2 x m/s = m^3 / 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 IL VOLUME TOTALE DEL SISTEMA, E' ANCHE UGUALE 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

IPOTESI:

- 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.

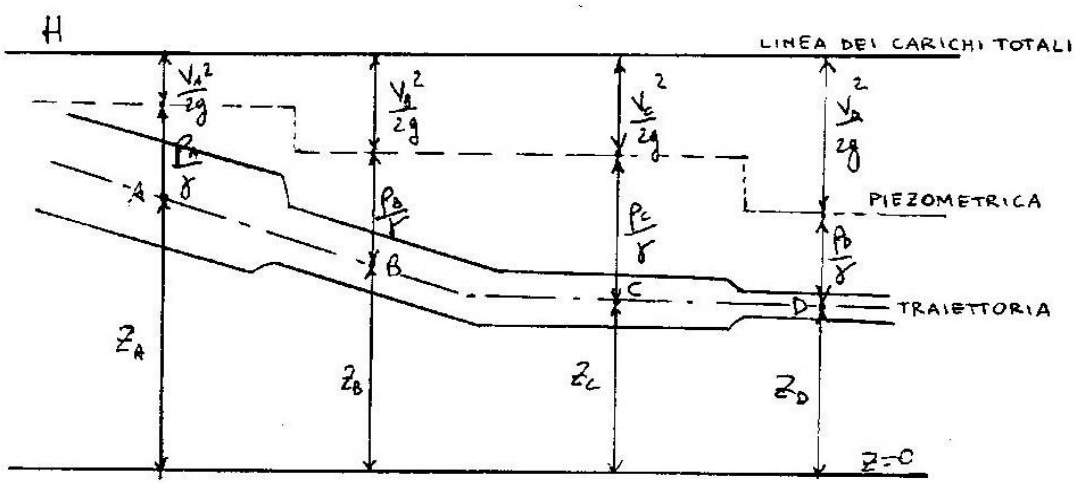
TEOREMA DI BERNOULLI

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

POICHE' IL MOTO E' PERMANENTE, Q = A x v = COSTANTE

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

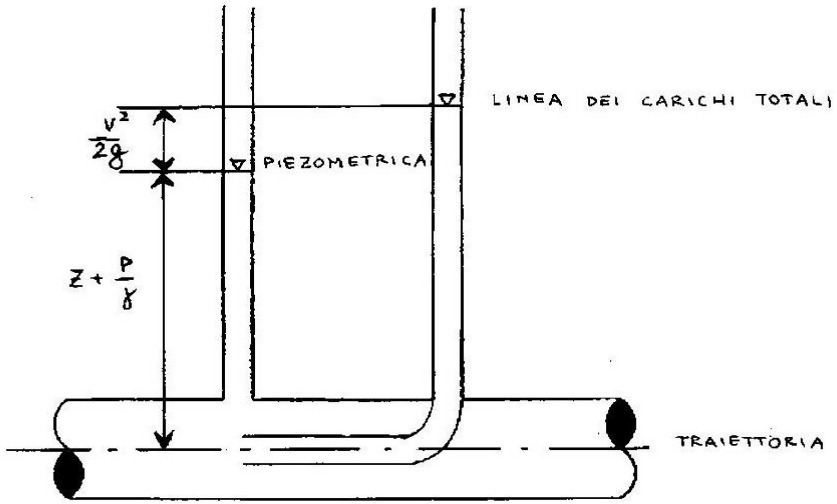
IN TRATTI ORIZZONTALI, SE DIMINUISCE LA SEZIONE DIMINUISCE ANCHE LA PRESSIONE



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:

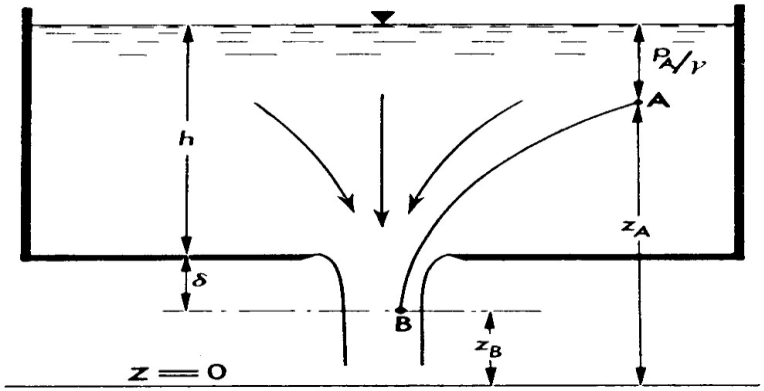
$v_B = \sqrt{2 g h}$

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

A = area del foro

C = coefficiente di contrazione = 0,60

portata: $Q = A_c \times v_B$



PROCESSI DI EFFLUSSO

CON RIFERIMENTO AL SISTEMA DELLA FIGURA PRECEDENTE:

1) LE PRESSIONI SONO RELATIVE, PER CUI $p_B = 0$ PERCHE' IL PUNTO E' IN CONTATTO CON L'ATMOSFERA

2) IL RECIPIENTE E' MOLTO GRANDE, PER CUI LA VELOCITA' CON CUI SI ABBASSA IL PELO LIBERO A CAUSA DELLA FUORIUSCITA DAL FONDO E' TRASCURABILE: ➔ $v_A = 0$

3) NE CONSEGUE $z_A + p_A / \gamma + v_A^2/2g = z_A + p_A / \gamma$ E QUINDI E' UGUALE AL LIVELLO DEL LIQUIDO NEL SERBATOIO

4) QUINDI, POICHE' δ È TRASCURABILE RISPETTO AD h, LA DIFFERENZA $z_A + p_A / \gamma - (z_B + \delta)$ EQUIVALE AD h

FLUIDI REALI - PERDITE DI CARICO

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

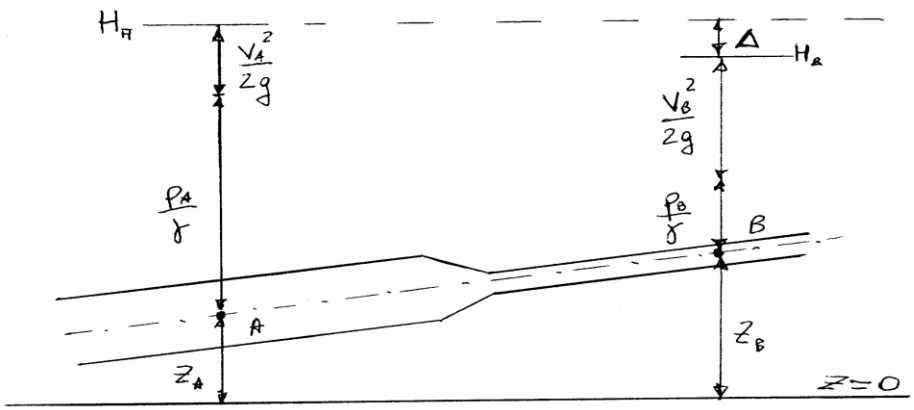
$z_A + p_A / \gamma + v_A^2/2g = z_B + p_B / \gamma + v_B^2/2g + \Delta$

$H_A = H_B + \Delta$

$H_B = H_A - \Delta$

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

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



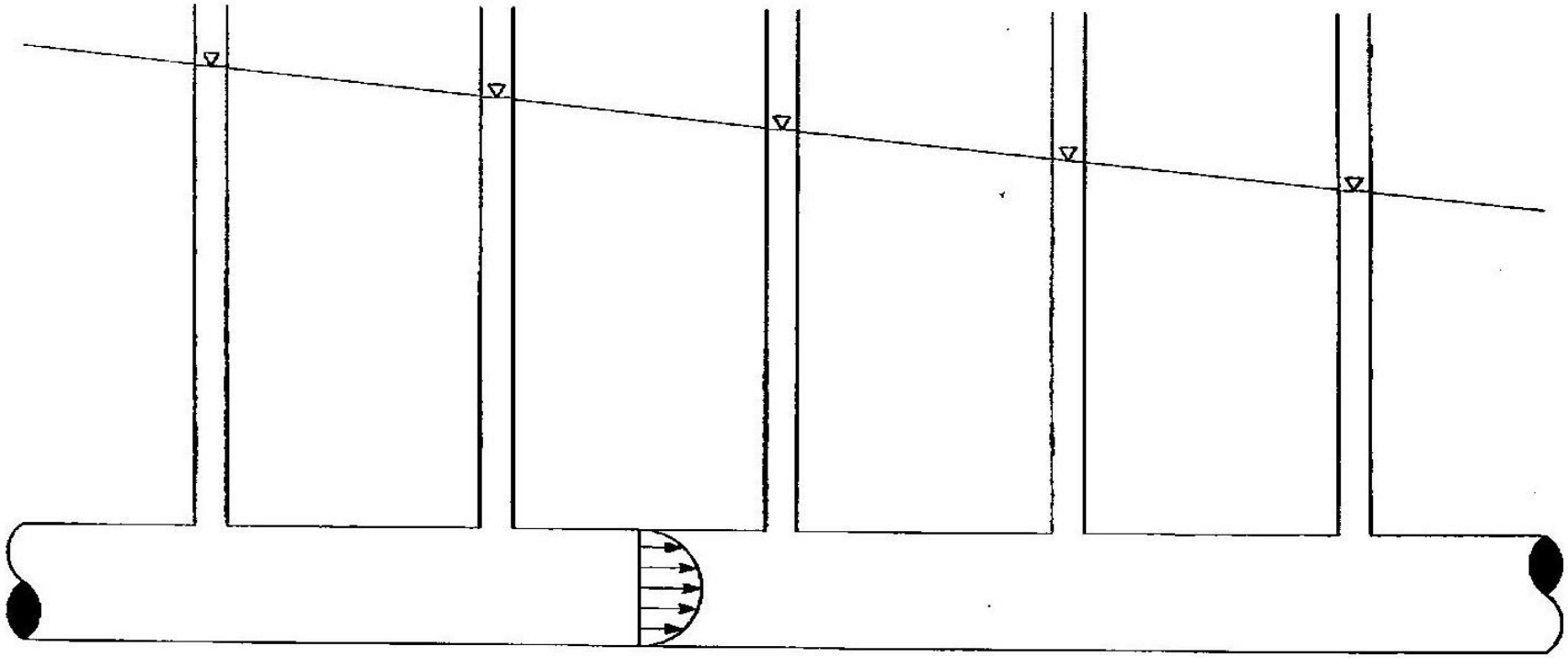
CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE

- ESISTONO FORMULE PER CALCOLARE LA CADENTE J (PERDITA DI CARICO PER UNITA' DI LUNGHEZZA DELLA TUBAZIONE)

- LA PERDITA TOTALE VALE: $\Delta = J \times L$

PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE



CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE

LA CADENTE DIPENDE DA:

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

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

EQUAZIONI TIPICHE: $J = k\, v^2 / D = k'\, Q^2 / D^5$

DOVE LA COSTANTE k, E QUINDI LA CADENTE, E' PROPORZIONALE ALLA VISCOSITA' DEL FLUIDO ED ALLA RUGOSITA' DELLA TUBAZIONE

NORMALMENTE, SI UTILIZZANO GRAFICI CHE RIPORTANO J = F(Q, v, D) PER LE TUBAZIONI DI COMUNE IMPIEGO E PER I FLUIDI PIU' COMUNI (ESEMPIO: ACQUA)

CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE

- SI POSSONO CALCOLARE ANALITICAMENTE PER OGNI TIPO DI DISCONTINUITA' E CIASCUNA VIENE POI TRADOTTA IN UNA LUNGHEZZA EQUIVALENTE DI TUBAZIONE DIRITTA, CHE DA' UNA PERDITA DISTRIBUITA COMPLESSIVAMENTE UGUALE ALLA PERDITA LOCALIZZATA EFFETTIVA - TUTTE LE LUNGHEZZE EQUIVALENTI SI SOMMANO E SI OTTIENE IL TOTALE L_{pl}

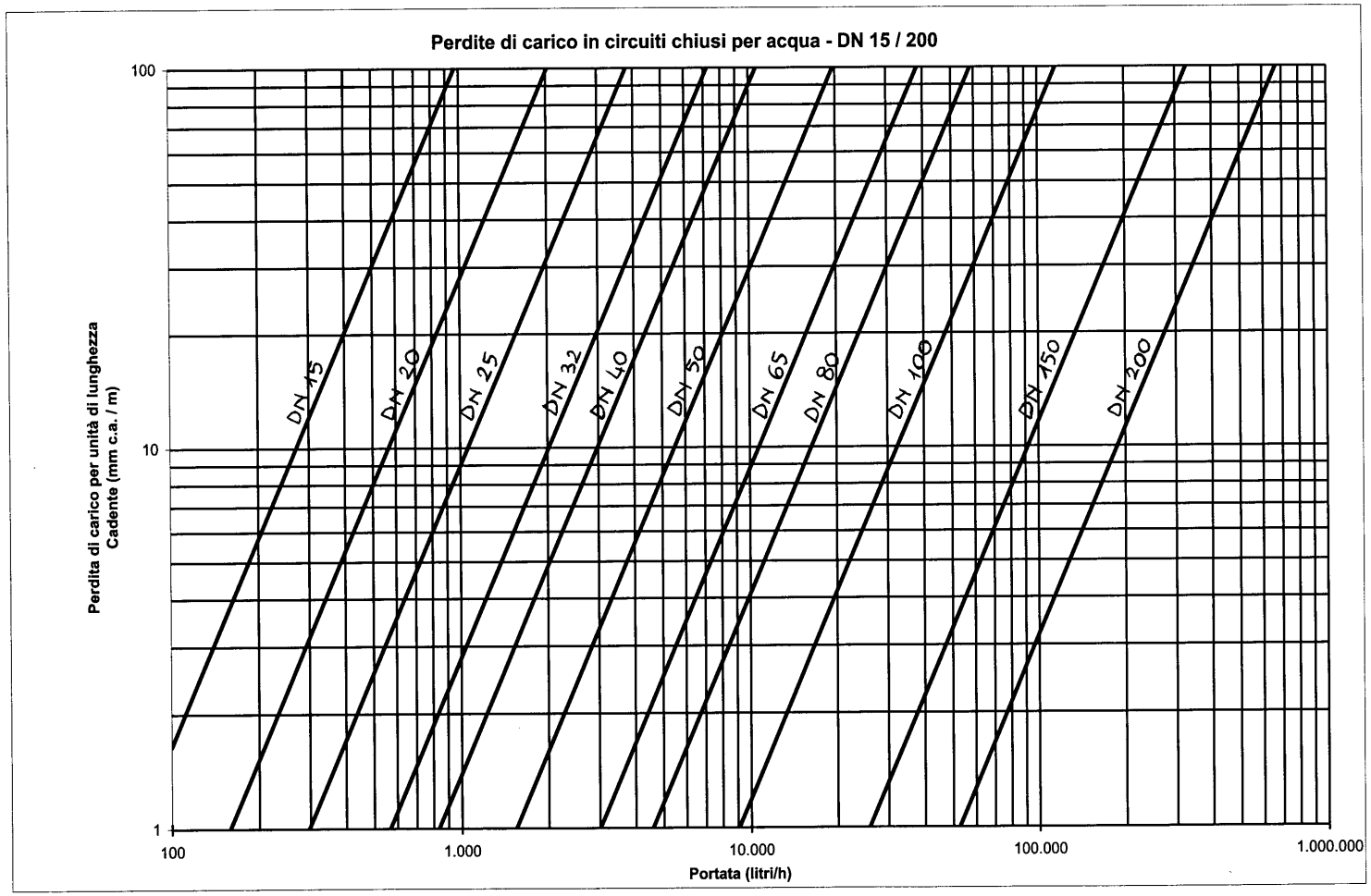
- LUNGHEZZA FITTIZIA: $L_f = L + L_{pl}$

- PERDITA TOTALE: $\Delta = J \times L_f$

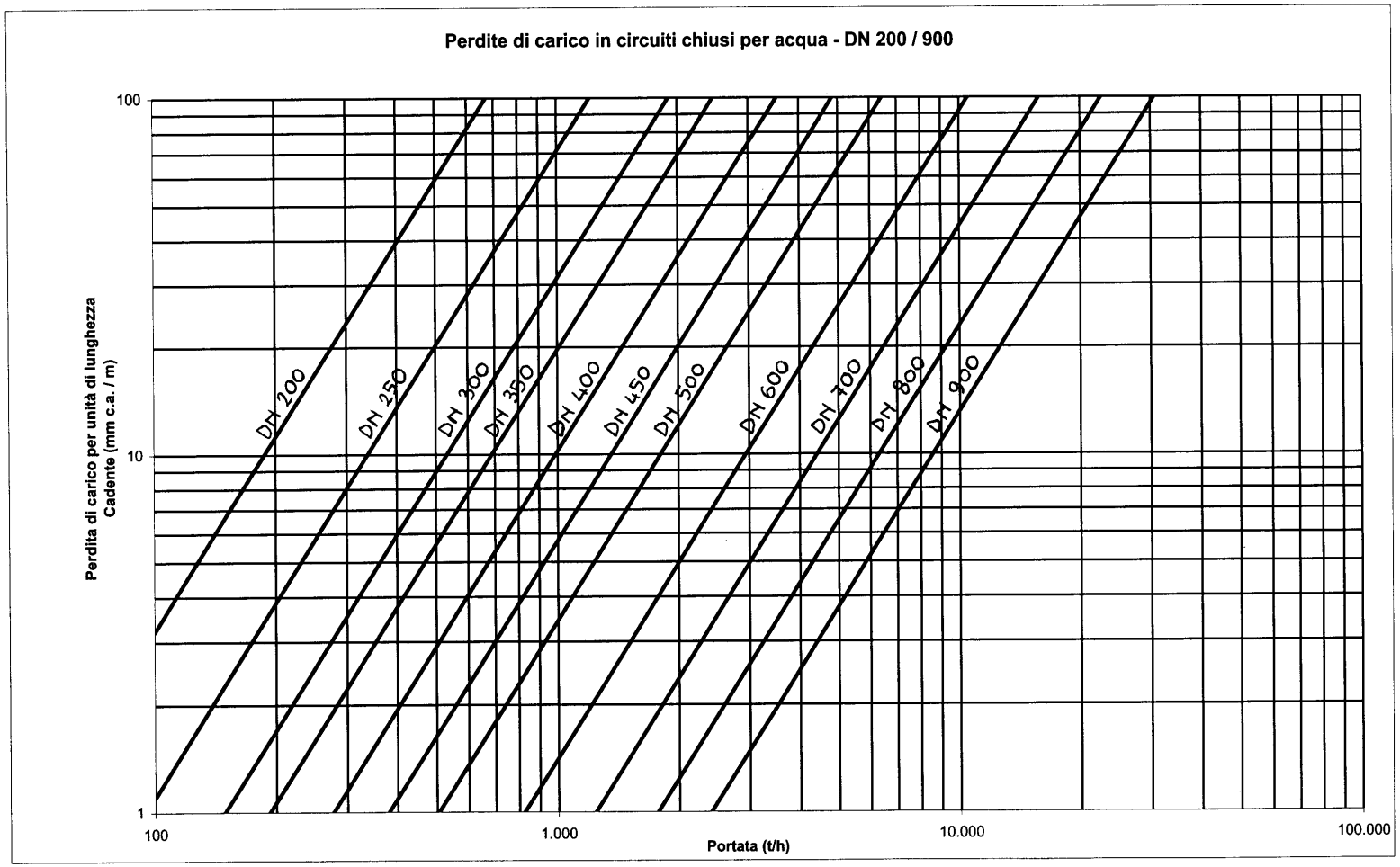
- IN ALTERNATIVA, SI POSSONO ESPRIMERE LE PERDITE LOCALIZZATE TOTALI COME % (p, DI SOLITO 5-10%) DELLE PERDITE DISTRIBUITE:

$$\text{PERDITA TOTALE: } \Delta = (J \times L) \times (1 + p)$$

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

$$H_B < H_A \quad \Rightarrow \quad P_B < P_A$$

POTENZA DI UNA CORRENTE IN UNA SEZIONE

$$H_B < H_A \quad \Rightarrow \quad P_B < P_A$$

$$E = P \times t \quad \Rightarrow \quad E_B < E_A$$

LE PERDITE DI CARICO CAUSANO UNA PERDITA DI ENERGIA

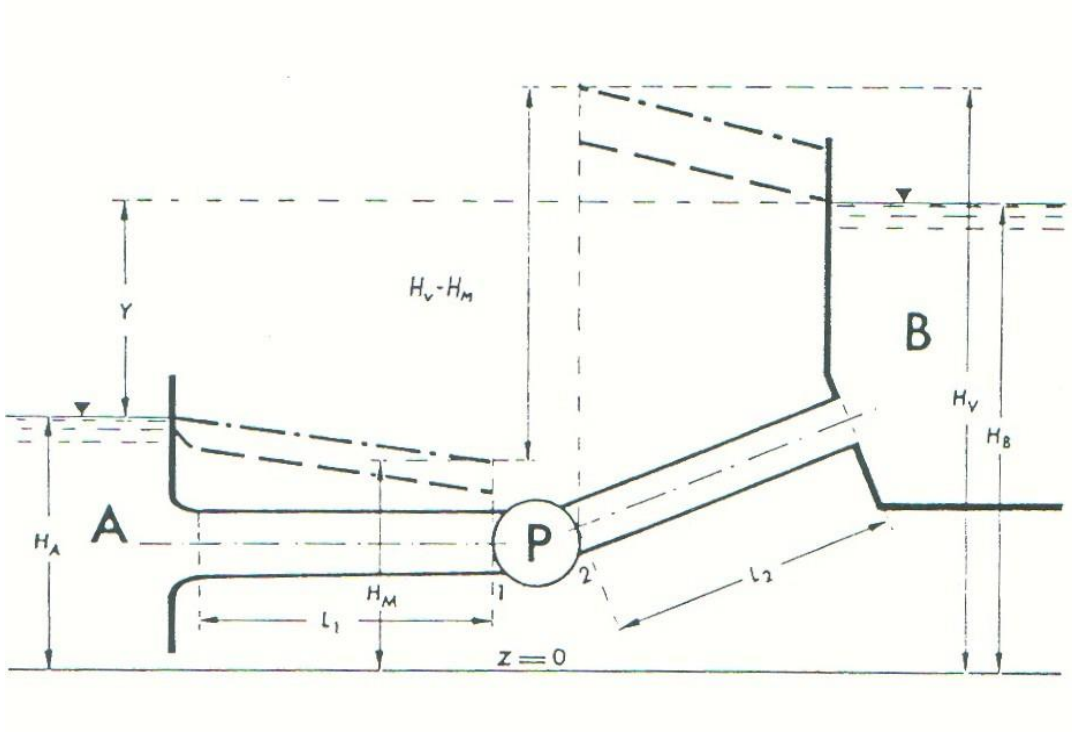
SCAMBI DI ENERGIA FRA UN FLUIDO E UNA MACCHINA

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

(differenza fra il carico totale in uscita e quello in ingresso)

POTENZA DI UNA POMPA

POTENZA TEORICA NECESSARIA

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

dove:

γ = Peso specifico (densità x acc. gravità)

Q = Portata

Δ = Perdite di carico totali (distribuite + localizzate)

H = Prevalenza della pompa

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

$P_m = Pi / \eta_m$

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