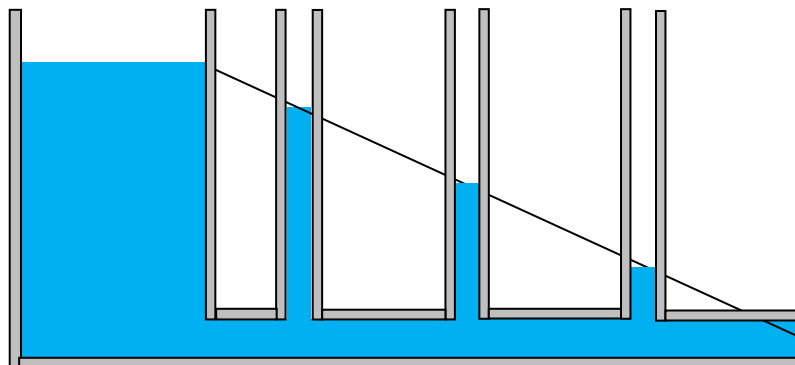


IDRAULICA

Branchia della scienza che studia il moto di fluidi incompressibili a densità costante, come l'acqua, all'interno di condotti.

PERDITE DI CARICO



(Fig.1)

Si prenda in considerazione un bacino pieno d'acqua che ha un pelo libero ad una certa quota rispetto al livello del mare al quale è collegato un tubo (Fig.1). L'acqua possiede una certa energia potenziale gravitazionale che tende a farla scivolare verso il basso e a farla uscire dal condotto.

Durante il suo moto il fluido perde energia. Per visualizzare questa perdita di energia sono utilizzati dei piezometri (tubi verticali aperti verso l'alto).

La conversione tra l'altezza dell'acqua all'interno del piezometro e la pressione dell'acqua è messa in evidenza dalla relazione di Stevino, anche detta relazione dell'idrostatica.

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

p = pressione idrostatica

g = accelerazione di gravità (9.81 m/s^2)

ρ = densità del fluido

h = quota pelo libero del fluido

Es: $h = 10m$

$$\rho_{acqua} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$p = 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$$

Quindi 1 bar equivale a 10m di colonna d'acqua.

Quando l'acqua fuoriesce dal tubo la sua pressione è uguale alla pressione atmosferica, cioè all'aria dove si immette. Alla fine l'acqua non ha pressione rispetto all'aria, ho un equilibrio di pressione, si parla quindi di perdita di pressione anche detta perdita di carico. Il carico esprime la pressione in metri di colonna d'acqua, detto in particolare carico piezometrico ossia l'altezza dell'acqua all'interno di ciascun piezometro. Il carico iniziale lo perdo sempre tutto, quindi la perdita di carico è data a priori dal carico totale. Le perdite di carico determinano inoltre la velocità di uscita dell'acqua dal tubo. Un condotto con un diametro maggiore e perdita di carico minore avrà maggiore portata, quindi maggiore velocità d'uscita.

COME CALCOLARE LE PERDITE DI CARICO

Le perdite di carico sono causate da una serie di fenomeni fisici; possono avvenire:

- per resistenza, se non vi sono ostacoli lungo il condotto
- per discontinuità, se nel condotto sono presenti valvole, curve rubinetti...

Le perdite di carico si distinguono in :

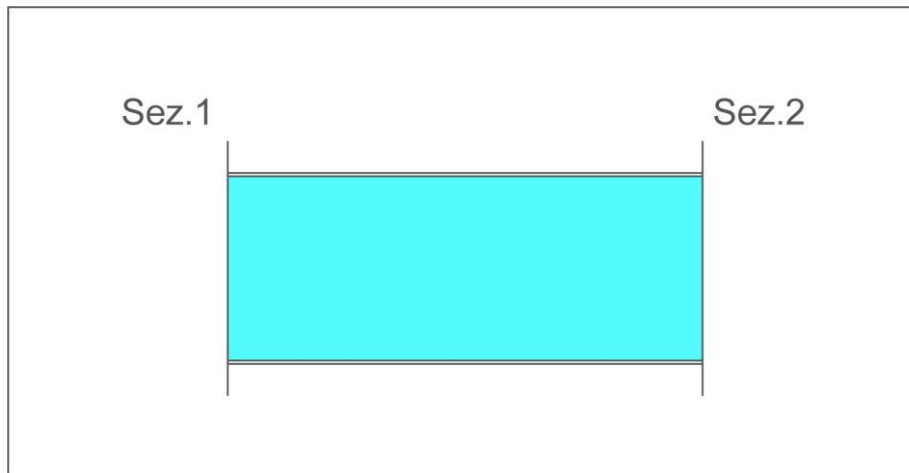
- distribuite
- concentrate

Le prime si sviluppano anche lungo un tubo liscio e dritto, senza ostacoli. Sono date dal fatto che l'acqua è un liquido viscoso quindi fa attrito con se stesso.

Le seconde dipendono dalla forma del condotto, quindi da un fattore geometrico.

Per comprendere meglio il sistema esaminiamo entrambi i casi.

Nelle perdite **distribuite** prendiamo in esame un tubo liscio e lineare, del quale abbiamo due sezioni distinte 1 e 2.



Il fluido si muove da sinistra verso destra quindi dal punto della sezione 1 al punto della sezione 2 si ha una caduta di pressione $\Delta p = p_1 - p_2$
 Per calcolare la perdita di carico viene introdotto un apposito termine R nell'equazione di Bernoulli:

$$R = \frac{p_1 - p_2}{\rho}$$

Bilancio di energia di un sistema aperto (dalla termodinamica):

$$(e_{c2} - e_{c1}) + (e_{p2} - e_{p1}) + (h_2 - h_1) = q - l \quad (\text{J/Kg})$$

Facendo le seguenti ipotesi:

$$T = \text{cost}$$

$$\rho = \text{cost}$$

$$q = 0$$

$$\text{Sapendo che } h_2 - h_1 = p_2 v_2 - p_1 v_1$$

Si può ri-scrivere l'equazione:

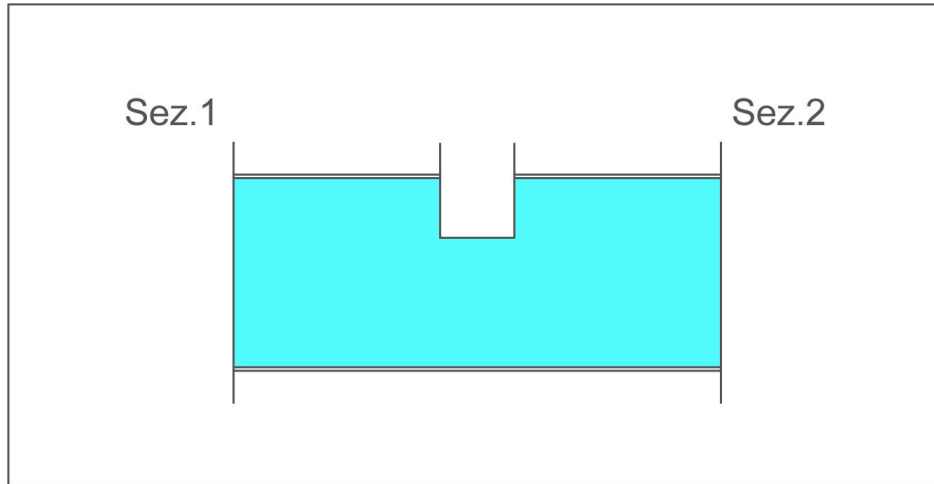
$$(e_{c1} - e_{c2}) + (e_{p2} - e_{p1}) + v \cdot (p_2 - p_1) + R = -l \quad (\text{J/Kg})$$

La velocità d'entrata è uguale alla velocità di uscita quindi uguale sarà anche l'energia cinetica. Sappiamo che $v(p_1 - p_2) = \frac{p_1 - p_2}{\rho}$ analogamente non c'è salto di energia potenziale, non c'è scambio di calore in quanto la temperatura rimane uniforme e non c'è nessuno scambio di lavoro tra le due sezioni. Quindi da ciò si ottiene la perdita di carico distribuita:

$$R = \frac{p_1 - p_2}{\rho}$$

Esistono tabelle o grafici che danno la perdita di carico in base al diametro e alla portata del condotto.

Per le perdite **concentrate** si prenda in esame un rubinetto oppure un brusco restringimento nel tubo: qui vi è un'ulteriore perdita di pressione che dipende dal numero di ostacoli presenti nel condotto.



La somma delle perdite di carico distribuite con le perdite di carico concentrate mi definisce la perdita di carico **complessiva**. L'equazione di bilancio dell'energia in un sistema aperto (eq. di Bernoulli) può essere scritta:

$$(w_2^2 - w_1^2)/2 + g(z_2 - z_1) + (p_2 - p_1)/\rho + R = -l$$

R può essere una perdita distribuita o concentrata, quindi ne deriva la formula:

$$(w_2^2 - w_1^2)/2 + g(z_2 - z_1) + (p_2 - p_1)/\rho + (R_d + R_c) = -l$$

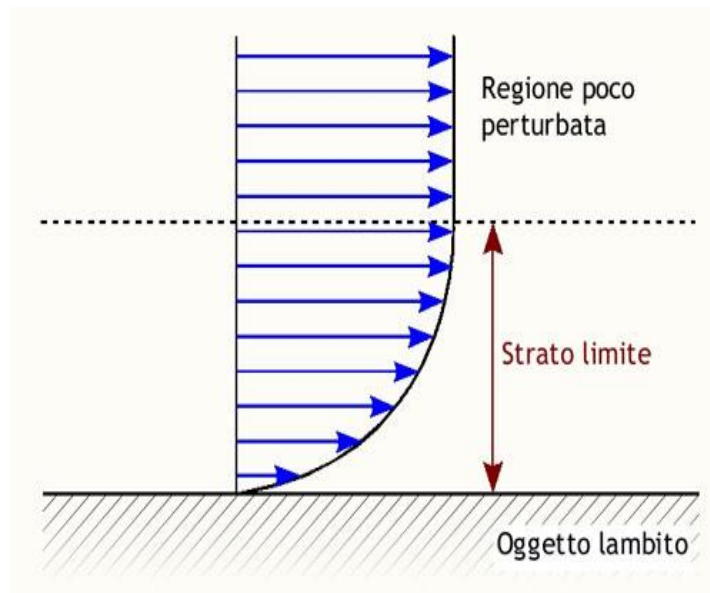
Il termine $-l$ rappresenta il lavoro per unità di massa compiuto da una turbina o da una pompa.

VISCOSITA'

La viscosità viene definita come l'insieme delle forze tangenziali tra superficie e fluido e tra strati di fluido diversi che si oppone al moto del fluido stesso rispetto alla superficie. Tali forze tangenziali sono dette TENSIONI (τ)

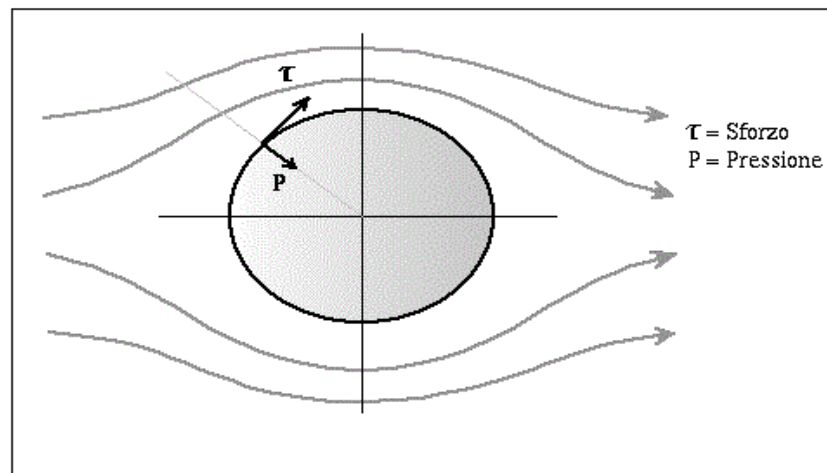
$$\tau = \frac{F}{A} \quad [N/m^2] = [Pa]$$

dove F è la forza tangenziale che agisce su un elemento di area A, e che si oppone al verso del movimento del liquido. L'unità di misura della tensione tangenziale è il Pa, ma non va confusa con la pressione; la pressione infatti agisce perpendicolarmente alla superficie, la tensione tangenziale agisce parallelamente alla superficie. Si prenda in considerazione un fluido in moto relativo rispetto ad una superficie solida. Diamo luogo alla curva che rappresenta la variazione della velocità del fluido al variare della distanza dalla superficie solida in quiete. (Fig.4)



(Fig. 4: profilo di velocità di un fluido e strato limite)

Nella zona centrale del tubo il fluido ha velocità massima, a contatto con la superficie solida ha velocità nulla. L'ipotesi della velocità nulla in periferia prende il nome di ipotesi dell'aderenza. La curva che indica l'involuppo del vettore velocità è detta profilo di velocità. La porzione di fluido all'interno del quale varia la velocità del fluido stesso è definita strato limite.



(Fig.5 :forze tangenziali e normali agenti sul corpo per effetto del movimento del fluido)

Il gradiente di velocità è la variazione di velocità tra due strati di fluido che scorrono uno rispetto all'altro divisa per la distanza fra i due strati.

LEGGE DI NEWTON



Isaak Newton.

Legge fondante della viscosità nei fluidi.

Tale legge afferma che lo sforzo tangenziale (τ) è proporzionale al gradiente della velocità.

$$\tau_{xy} = -\mu \frac{\delta u}{\delta y}$$

τ_{xy} : tensione che si esercita nella direzione (x) sulla superficie normale ad (y) rivolto verso la (x) decrescenti.

u: è la velocità

μ : è il fattore di proporzionalità tra lo sforzo tangenziale e il gradiente di velocità.

Indica la viscosità propria di ogni fluido, dipende dalla temperatura. E' un numero puro e si misura in:

$$\mu = \frac{[Pa]}{[m/s/m]} = [Pa][s]$$

μ è detta viscosità dinamica, oltre questa esiste anche la viscosità cinematica ν .

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \frac{[m^2]}{[s]}$$

Fluidi	Viscosità dinamica	Massa volumica	Viscosità cinematica
Idrogeno	$8,9 \times 10^{-6}$	0,084	$1,06 \times 10^{-4}$
Aria	$1,8 \times 10^{-5}$	1,20	$1,51 \times 10^{-5}$
Benzina	$2,9 \times 10^{-4}$	720	$4,03 \times 10^{-7}$
Acqua	$1,0 \times 10^{-3}$	999	$1,01 \times 10^{-6}$
Alcool etilico	$1,2 \times 10^{-3}$	789	$1,51 \times 10^{-6}$
Mercurio	$1,5 \times 10^{-3}$	13.540	$1,16 \times 10^{-7}$
Olio	0,26	930	$2,79 \times 10^{-4}$
Glicerina	1,5	1.263	$1,19 \times 10^{-3}$

(Tabella con viscosità dinamica, massa volumica=densità, viscosità cinematica di otto fluidi in unità SI).

Grafico viscosità dinamica.

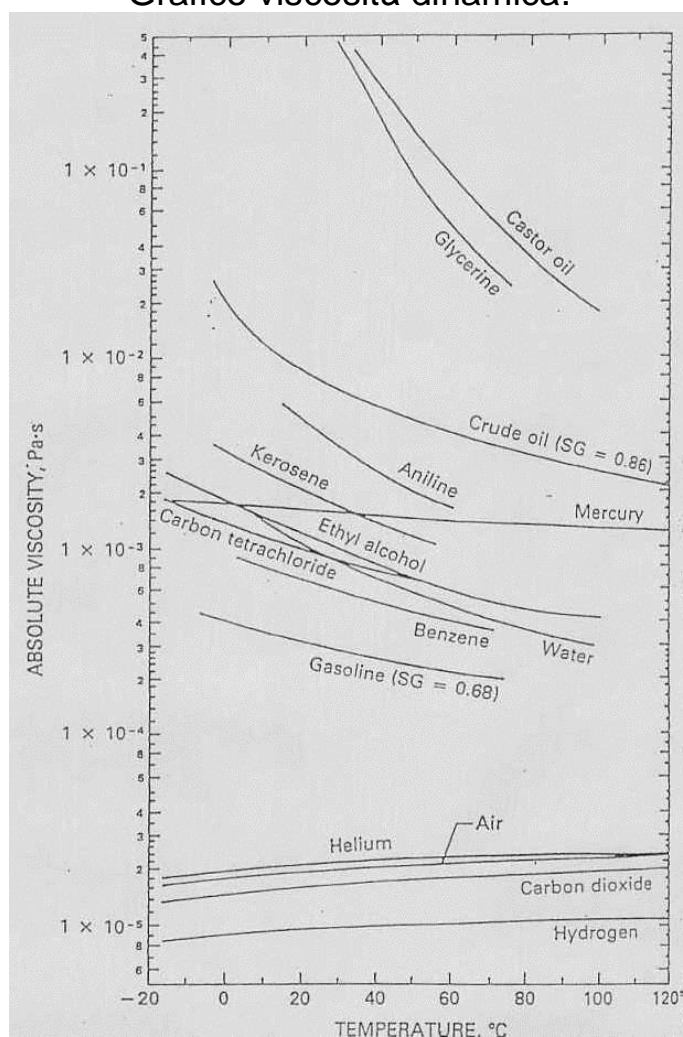
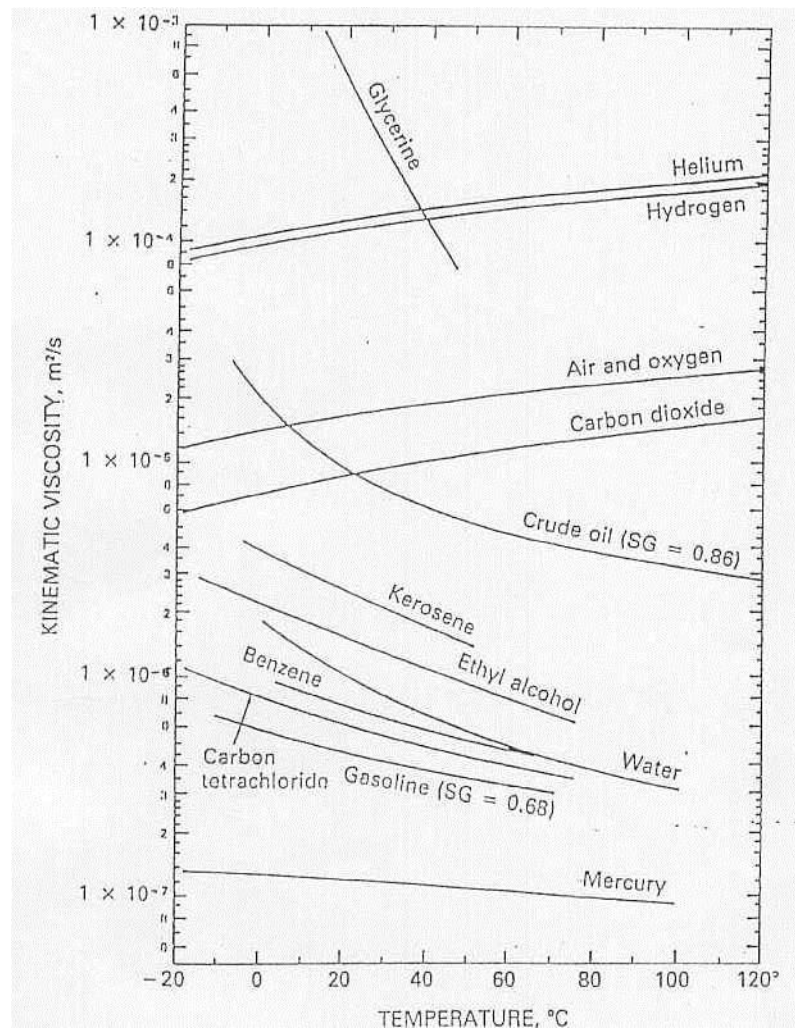
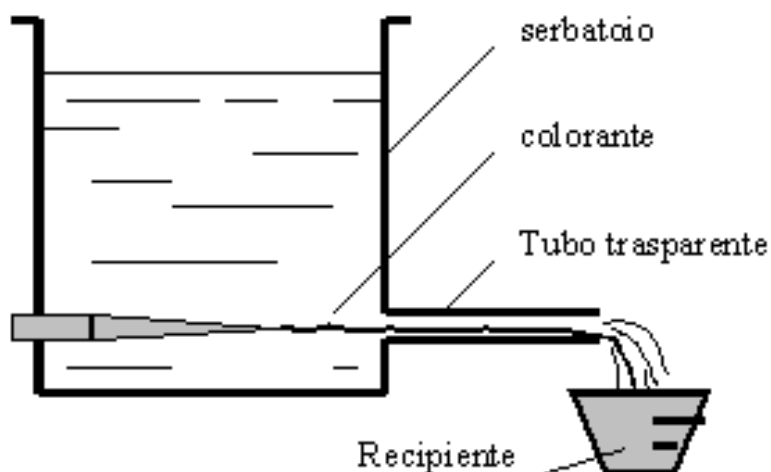


Grafico viscosità cinematica.



ESPERIMENTO E N° DI REYNOLDS

Quantificare l'effetto della viscosità sul moto del fluido viene fatto per mezzo di una grandezza dimensionale detta numero di Reynolds.



(Fig.6 Rappresentazione dell'esperimento di Reynolds, caso del serbatoio con poco fluido)

Si prenda in esame un certo serbatoio con un certo pelo libero ad una certa quota che impone un certo carico piezometrico e un tubo orizzontale dal quale possa fuoriuscire l'acqua. Ho inoltre un tubicino inserito nel serbatoio in corrispondenza del centro del tubo. Variando l'altezza del pelo libero o il diametro del condotto, cambia la velocità con cui il liquido scorre nel tubo. Studiamo dunque l'andamento del liquido nel condotto al variare della sua velocità media w : per osservare quanto accade inietto con il tubicino del liquido colorante nel condotto.

Quando il recipiente è poco carico (Fig. 6) l'acqua scorre a bassa velocità, il liquido colorante rimane imperturbato e scorre dentro ad un ipotetico tubicino detto tubo di flusso, il flusso è monodirezionale; il moto delle particelle colorate è detto moto laminare (a).

Se aumento l'altezza del pelo libero, aumento il salto di quota disponibile, l'energia disponibile quindi aumenta la velocità con cui il fluido esce. Al di sopra di una certa velocità, detta velocità critica, il liquido colorato inizia ad oscillare fino a mescolarsi con tutta l'acqua. Si verifica quindi il moto turbolento (b).

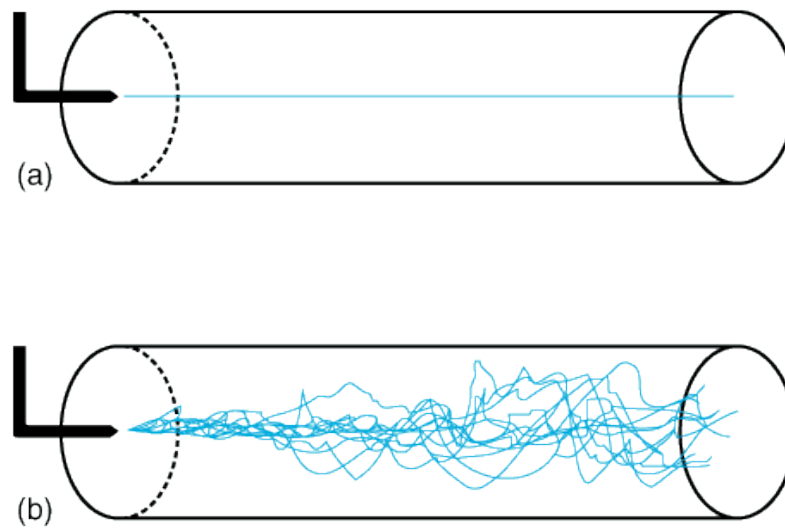


Fig. 7: Regime laminare (a) e regime turbolento (b)

Reynolds scoprì che la transizione del regime di moto laminare a regime di moto turbolento (e viceversa) dipende da quattro grandezze: velocità w , densità ρ , viscosità μ del fluido e il diametro D del condotto.

Tale legame è espresso da Re (numero di Reynolds):

$$Re = \frac{wD\rho}{\mu} = \frac{wD}{\nu}$$

In particolare, se $Re < 2100$ abbiamo un moto laminare, se $Re > 4000$ abbiamo un moto turbolento; nell'intervallo in mezzo abbiamo un moto incerto e instabile.