

Un liquido in moto sollecitato da forze tangenziali.

La fisica, al di là di tutte le considerazioni di carattere epistemologico che si possono fare, rimane una scienza sperimentale. Una formula, un concetto supportato da sviluppi matematici anche esaustivi e completi nella dimostrazione della tesi, nell'ambito di tutte le discipline scientifiche, richiede in ogni caso una conferma sperimentale, ovvero la realizzazione di un apparato più o meno complesso per mezzo del quale riusciamo a tirare fuori dei numeri rappresentativi delle grandezze fisiche, che sostituiti nell'algoritmo che riproduce la formula (sintesi del concetto), ne verificano la rispondenza della stessa formula alla realtà del fenomeno. Ci siamo occupati di trasformazioni energetiche tra materia in fase solida con quella in fase liquida. Più precisamente di corpi che posseggono energia potenziale oppure elastica che trasformano parte della loro energia conferendola ad un liquido reale, di determinata viscosità, ritrovandola nel liquido stesso sotto forma di energia potenziale, cinetica e di pressione. Al fine di raggiungere tale obiettivo, vi è una apparecchiatura che presenta alcuni spunti originali in relazione al suo funzionamento, la quale consente non solo di studiare le trasformazioni di energia potenziale, elastica oppure magnetica, in energia conferita ad un liquido, ma anche di verificare sperimentalmente alcune fondamentali leggi di idrodinamica. Ci si è soffermati alla valutazione del moto di un liquido che attraversa un piccolo tubo di sezione piccola (inferiore ad un centimetro) dove i fenomeni di resistenza interna del liquido reale, sono significativi e considerevoli per cui non si può accettare l'ipotesi che la velocità delle particelle del liquido, lungo la sezione considerata, abbia lo stesso valore, pertanto il teorema di Bernoulli non è verificato. Infatti è noto che in tal caso la velocità è massima al centro e minima (zero) sulla superficie interna di contatto del liquido con le pareti del tubicino, secondo un andamento che in buona approssimazione ha un andamento di tipo parabolico. E' un problema che si riscontra in emodinamica relativamente alla circolazione del sangue nelle vene oppure nelle arterie, in presenza o in assenza di aneurismi o stenosi (le cui conseguenze al corpo umano sono ben note ad un cardiologo e purtroppo anche ad un cardiopatico). Non a caso il fisiologo francese Poiseuille (Hagen) introdusse e dimostrò la sua famosa legge che prende il suo nome, costituendo un chiaro esempio di approccio interdisciplinare e di integrazione del metodo di indagine scientifica. Infatti a tal scopo forniamo qualche elemento di idrodinamica.

La dinamica dei liquidi studia le cause e gli effetti di un liquido in movimento.

Nella dinamica dei liquidi è consuetudine distinguere i liquidi in:

Liquidi ideali ovvero incompressibili e privi di viscosità.

Liquidi reali ovvero liquidi viscosi . (es. Acqua,olio, alcol ecc.)

(La viscosità è intesa come la resistenza che gli strati di liquido incontrano a scivolare gli uni sugli altri.)

Il moto di un liquido può essere stazionario e non stazionario.

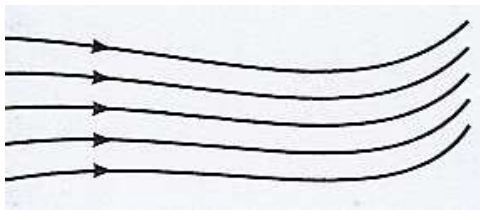
Moto stazionario: è quel moto in cui la velocità in un qualsiasi punto non cambia con il tempo (le particelle che si succedono in un determinato punto hanno la stessa velocità).

Il moto non è stazionario quando la velocità in un determinato punto del liquido varia nel tempo.

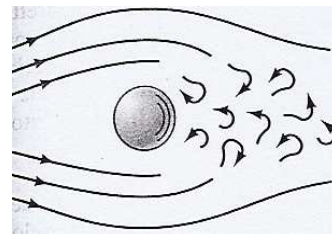
Un flusso può essere laminare oppure turbolento.

Un Flusso si dice laminare se ogni particella del liquido segue un percorso che non si interseca con altri percorsi.

Un Flusso si dice turbolento se le particelle del liquido seguono percorsi vorticosi.



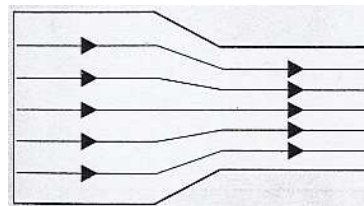
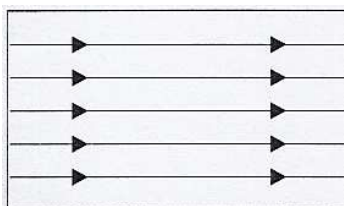
Flusso laminare



Flusso turbolento

la Linea di flusso indica le traiettorie descritte dalle particelle, la cui tangente in ogni punto è la direzione della velocità della stessa particella in quel punto.

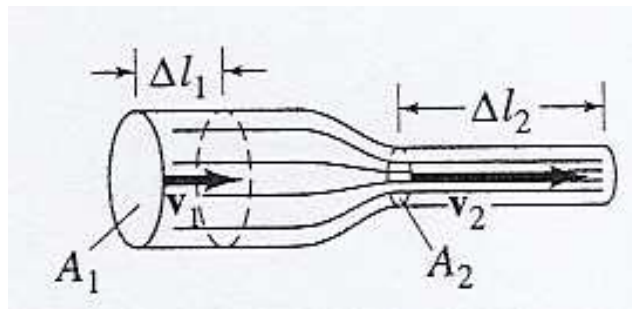
Le linee di flusso si infittiscono nella regione in cui la sezione si restringe.



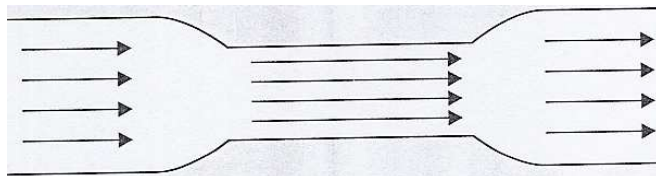
PRINCIPIO DI CONTINUITA'

Consideriamo un liquido ideale in moto stazionario e laminare in un condotto.
La quantità di liquido Δm_1 che attraversa la sezione A_1 di un condotto nel tempo Δt è uguale alla massa di liquido Δm_2 che attraversa la sezione A_2 nel tempo Δt

se il liquido è incomprimibile ($\rho_1 = \rho_2$) si ha: $A_1 v_1 = A_2 v_2$



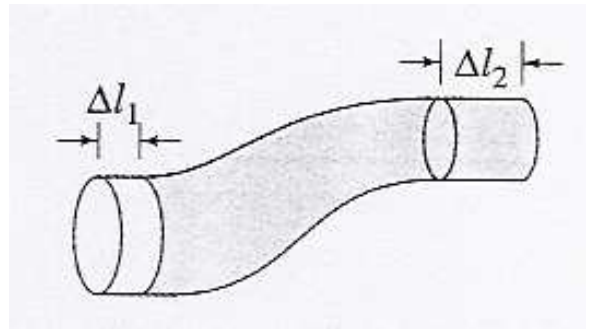
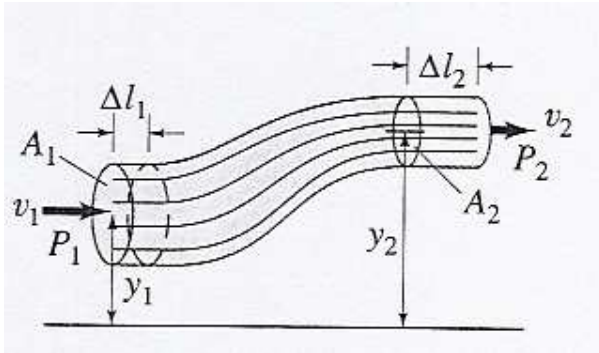
La grandezza $A \cdot v$ prodotto della sezione per la velocità definisce la portata (ovvero il volume di fluido che attraversa una sezione in un secondo).
Nel moto stazionario la portata è costante per cui le velocità sono inversamente proporzionali alle sezioni.



Schematicamente possiamo dire che le velocità aumentano dove le linee di flusso si infittiscono.

TEOREMA DI BERNOULLI

Teorema del lavoro e dell'energia cinetica applicato al moto stazionario di un liquido ideale. Consideriamo il tubo di flusso rappresentato in figura.



Lavoro compiuto dalle forze di pressione per spostare il fluido: $W_1 + W_2$
dove $W_1 = F_1 \Delta l_1 = p_1 A_1 \Delta l_1$ e $W_2 = -F_2 \Delta l_2 = -p_2 A_2 \Delta l_2$

Lavoro compiuto dalla gravità: $W_3 = -mg(y_2 - y_1)$
dove m è la massa corrispondente al volume

$$A_1 \Delta l_1 = A_2 \Delta l_2 \text{ (cioè } m = \rho A_1 \Delta l_1 = \rho A_2 \Delta l_2 \text{)}$$

Il lavoro totale compiuto sul fluido è: $W = W_1 + W_2 + W_3$

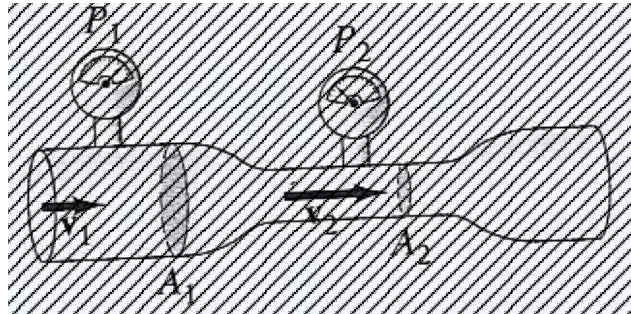
Applicando il teorema dell'energia cinetica otteniamo:

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho g h = \text{cost.}$$

Il cosiddetto trinomio di Bernoulli : la pressione , l'energia cinetica e l'energia potenziale in una sezione del liquido possono variare singolarmente o congiuntamente rispetto ad un'altra sezione, ma la somma totale dei tre membri in entrambe le sezioni rimane sempre costante.

APPLICAZIONI DEL TEOREMA DI BERNOULLI

EFFETTO VENTURI



Portata in A_1 è uguale alla portata in A_2 ; $v_1 A_1 = v_2 A_2$

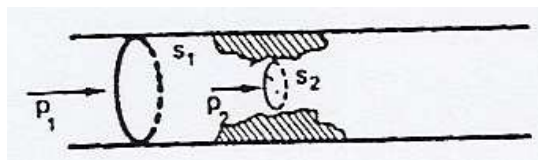
Il teorema di Bernoulli applicato alle sezioni A_1 e A_2 comporta che :

$p_1 > p_2$: la pressione è maggiore dove la sezione è maggiore (e la velocità è minore).

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) > 0$$

STENOSI

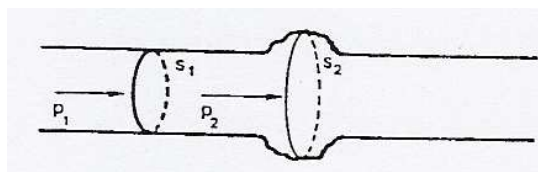


Ovvero il restringimento della sezione del vaso per deposito di grumi di grasso.

$p_2 < p_1$: in s_2 si instaura un processo cumulativo che porta ad un ulteriore diminuzione della pressione: occlusione del vaso.

ANEURISMA

Ovvero l'allargamento di una sezione del vaso a causa della perdita di elasticità.

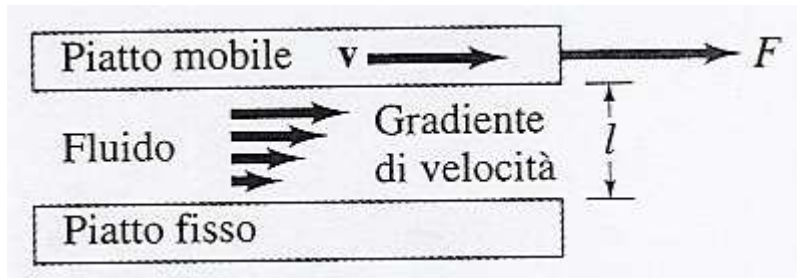


$p_2 > p_1$: il processo progredisce, ossia la pressione in s_2 aumenta ulteriormente: rottura del vaso.

LIQUIDI REALI (caratterizzati da viscosità)

La viscosità indica la forza di attrito fra strati adiacenti (nei liquidi è dovuta alla forza di coesione fra molecole, nei gas agli urti fra molecole).

Evidenza sperimentale della viscosità



Lo strato di fluido a contatto con il piatto mobile si muove con la stessa velocità del piatto, lo strato di fluido a contatto con il piatto fisso è fermo.

Ogni strato di liquido è trascinato da quello superiore ed è ostacolato da quello inferiore: la velocità varia in modo continuo da v a 0 .

Si trova sperimentalmente che la forza F richiesta per mettere in moto il fluido è:

$$F = \eta Av/l$$

A = area del fluido a contatto con ciascun piatto

η = coefficiente di viscosità (dipende dal fluido e dalla temperatura).

UNITA' DI MISURA

$$\eta = \frac{F l}{A v} \quad \text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 \text{ (S.I.)}$$

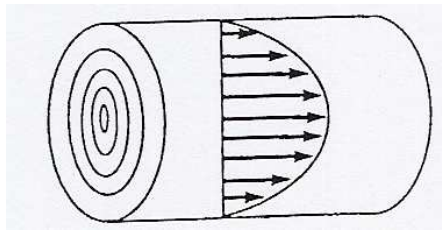
$$[\eta] = [F L L^{-2} L^{-1} T] \quad \text{dyne} \cdot \text{s} / \text{cm}^2 = \text{poise}$$

CONSEGUENZE DELLA VISCOSITA'

Quando un liquido fluisce in un condotto la velocità è massima al centro e minima alle pareti (per l'azione frenante delle pareti).

A causa della viscosità, il liquido reale in moto perde energia meccanica (perdita di carico):

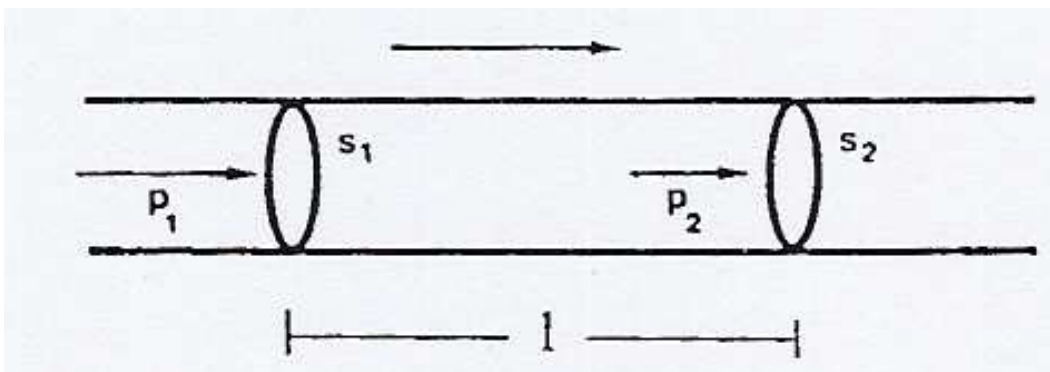
$E_A > 0$ energia perduta per unità di volume per cui bisogna contemplare questo termine e riscrivere l'equazione di Bernoulli nel modo riportato sotto:



$$\text{pertanto: } p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v^2 + E_A$$

Poiché $h_1 = h_2$ e $v_1 = v_2$: $p_1 = p_2 + E_A \Rightarrow p_1 - p_2 = E_A$

Necessità di una differenza di pressione (cioè di una pompa) per mantenere il



liquido in moto stazionario con portata Q . La differenza ΔP indica $p_1 - p_2$

$$R = \frac{\Delta P}{Q} \text{ resistenza del condotto}$$

Se il liquido reale è il sangue, la pompa è il cuore.

LEGGE DI POISEUILLE

La Portata Q di un liquido reale di viscosità η in moto stazionario con flusso laminare attraverso un condotto cilindrico di raggio r e lunghezza L è data dalla seguente formula:

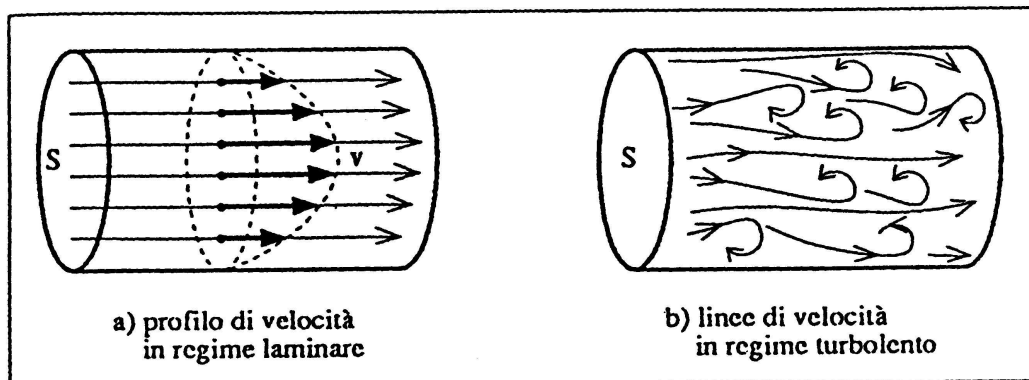
$$Q = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2)}{8\eta L}$$

Dove p_1 indica la pressione nella sezione A_1 e p_2 la pressione nella sezione A_2

La legge di Poiseuille si applica anche al flusso del sangue nel corpo umano. Se il raggio dei vasi si riduce (ad es. per depositi di colesterolo) il cuore deve lavorare più intensamente per mantenere la stessa portata.

MOTO VORTICOSO

Se la velocità del fluido nel condotto viene progressivamente aumentata, si osserva che quando si raggiunge un valore di velocità critica v_c , la formula di Poiseuille cessa di valere. Si ha un passaggio ad un regime di moto vorticoso (formazione di vortici che rimescolano il fluido fra la zona assiale e la zona periferica del condotto):



$$v_c = R \frac{\eta}{\rho r}$$

R : numero di Reynolds

Aumenta la resistenza del condotto:

$R = KQ$, dove K è un fattore di attrito

$$R = \frac{\Delta P}{Q} = KQ \Rightarrow Q \propto \sqrt{\Delta p}$$

nel regime vorticoso per raddoppiare la portata è necessario quadruplicare la differenza di pressione applicata agli estremi del condotto.

Aspetti funzionali del modulo didattico.

L'apparecchiatura che consente di effettuare misure di grandezze fisiche di natura idrodinamica a cui facciamo riferimento si presenta come un sistema costituito da un cilindro di alluminio in cui un pistone in alluminio a cui è stato praticato un foro assiale con guarnizioni in particolari punti, si muove svolgendo un moto alternativo. Infatti il pistone può traslare nel cilindro, grazie ad un cinematisma biella-manovella, svolgendo quindi un moto armonico in prima approssimazione. All'altro estremo del cilindro è posto assialmente un altro cilindro in cui vi è un pistone mobile opposto a quello principale, che può scorrere laddove sollecitato meccanicamente. Tale pistone può essere azionato singolarmente, da una massa che scende (massa appesa ad un filo inestensibile che sale e scende grazie ad un sistema di carrucole) oppure da una molla (forza elastica) o ancora da un sistema di piccole elettrocalamite (energia magnetica trasformata in energia conferita al liquido). Il sistema a geometria cilindrica coassiale è appoggiato in modo solidale ad un supporto metallico ed è munito di due piccoli tubi in plastica trasparenti in cui circola il liquido in esame che viene raccolto in una vaschetta graduata munita di un termometro onde consentire la misurazione della temperatura del liquido, da cui risalire, grazie alle tabelle, al valore della sua viscosità. In definitiva tale interessante apparecchiatura, in relazione al suo principio di funzionamento, consente l'attivazione di un vero e proprio circuito idraulico.

Tale modulo didattico, per la misurazione delle grandezze fisiche rappresentative del fenomeno, dispone di trasduttori che convertono in segnale elettrico la grandezza fisica misurata e di un convertitore analogico digitale preposto a trasformare tale segnale analogico in segnale binario in formato compatibile per l'acquisizione e la elaborazione da parte di un personal computer grazie ad un software di acquisizione installato sul computer. Tale approccio metodologico va a rientrare in un ambito noto come fisica on-line. I trasduttori di cui si avvale il modulo sono: un trasduttore di posizione ad ultrasuoni, per mezzo del quale si riesce istantaneamente a determinare la posizione del pistone mobile mediante tecnica ecosonar, un trasduttore di forza che misura istantaneamente la forza agente sul pistone mobile e un trasduttore di pressione differenziale che misura la differenza di pressione tra due sezioni del tubicino in cui circola il liquido, poste ad una determinata distanza.

Esperienze di laboratorio realizzabili con l'apparecchiatura.

- 1. Circuito idraulico con illustrazione del principio di funzionamento del sistema; aspetti fisici legati alla aspirazione e scarico del liquido in esame.**
- 2. Studio delle trasformazioni energetiche : energia gravitazionale, energia elastica oppure energia magnetica in energia conferita ad un liquido reale.**
- 3. Verifica sperimentale della dipendenza della pressione di un liquido in moto, dalla sezione di attraversamento.**
- 4. Studio del tubo di Venturi.**
- 5. Studio Sperimentale della legge di Poiseuille.**