

## Misure di Viscosità

La viscosità è un coefficiente che misura la maggiore o minore capacità di scorrere presentata da un fluido. La fisica insegna che il flusso  $\phi$  attraverso una condotta di lunghezza  $L$  e di sezione circolare di raggio  $r$ , ai capi della quale sia applicata una differenza di pressione  $\Delta P$  è data da (legge di Poiseuille):

$$\phi = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \eta l}$$

dove  $\eta$  è appunto la viscosità. Le dimensioni della viscosità sono  $M / Lt$ . Nel sistema MKS dovrebbe quindi misurarsi in  $Kg / m.sec$ .

L'unità usata in pratica è il POISE ( $gr./ cm.sec.$ ) e il suo sottomultiplo, il centipoise. Ad esempio la viscosità dell'acqua è di circa 1 cp.

La precedente formula potrà essere usata per misurare la viscosità quando si sia fissato il valore di  $\Delta P$ , di  $L$  e di  $r$  e si misuri il flusso:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \phi l}$$

Nella pratica si preferisce fare misure *relative*, e cioè valutare di quanto, proporzionalmente, la viscosità di un qualunque fluido differisce da quella di un liquido per cui essa sia nota (in genere acqua). In altri termini, a parità di  $r$ ,  $L$ , e  $\Delta P$  si misura il flusso dell'acqua  $\phi_{H_2O}$  e successivamente quello del liquido  $\phi_L$ . Il rapporto tra i due flussi fornirà il rapporto inverso delle viscosità (si noti che il flusso è inversamente proporzionale alla viscosità):

$$\phi_{H_2O} / \phi_L = \eta_L / \eta_{H_2O}$$

Una diversa maniera per misurare la viscosità è offerta dalla legge di Stokes che descrive il moto di un corpo immerso in un fluido che, proprio a causa della viscosità, ne rallenta la velocità. Il risultato è che, mentre applicando una forza costante ad un corpo libero (nel vuoto) questo si muove di moto uniformemente accelerato, immerso in un fluido raggiungerà ben presto una velocità limite oltre la quale non sarà più accelerato e si muoverà di moto uniforme.

La fisica insegna che il valore della velocità limite è dato da:

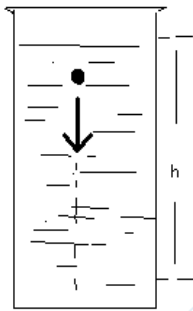
$$v_0 = \frac{F}{R}$$

dove  $F$  è la forza (costante) applicata, e  $R$  è il “coefficiente di attrito” che dipende dalla forma e dimensioni del corpo e dalla viscosità del fluido. In particolare per un oggetto sferico di raggio  $r$ , risulta  $R = 6\pi r\eta$  sicché:

$$v_0 = \frac{F}{6\pi r\eta}$$

da cui, conoscendo  $F$  e  $r$  e misurando  $v_0$  sarà possibile calcolare  $\eta$ . Nella pratica, facendo cadere delle sferette in un fluido,  $F$  corrisponderà alla forza di gravità diminuita della spinta di Archimede, mentre  $v_0$  sarà misurata cronometrando il tempo  $t$  occorrente perché la sfera cada attraverso due traguardi, una volta raggiunta la velocità limite, sicché sarà  $v_0 = h/t$ .

#### Calcolo della viscosità di un fluido



Per calcolare la viscosità di un fluido, occorre tener conto delle forze che agiscono sulla sferetta:

$$F = -mg \text{ (spinta di Archimede)}$$

$$F = mg \text{ (forza peso)}$$

$$F = -6\pi r\eta v \text{ (forza di Stokes)}$$

Trattandosi di una sferetta possiamo sostituire la massa  $m = \rho V$ ; dove  $\rho$  è la densità della sferetta se  $m$  è la massa della sferetta e  $m_0 = \rho_0 V$  dove  $\rho_0$  è la densità del liquido di cui si vuole calcolare la viscosità. Poiché  $V$  rappresenta il volume della sferetta possiamo scrivere che  $V = 4/3 \pi r^3$  e quindi riscrivere la relazione di equilibrio tra le forze come:

$$-6\pi r\eta v = 4/3 \pi r^3 g (\rho - \rho_0)$$

A questo punto, possiamo ricavarci la viscosità  $\eta = \frac{2}{9v} gr^2(\rho - \rho_0)$  dove

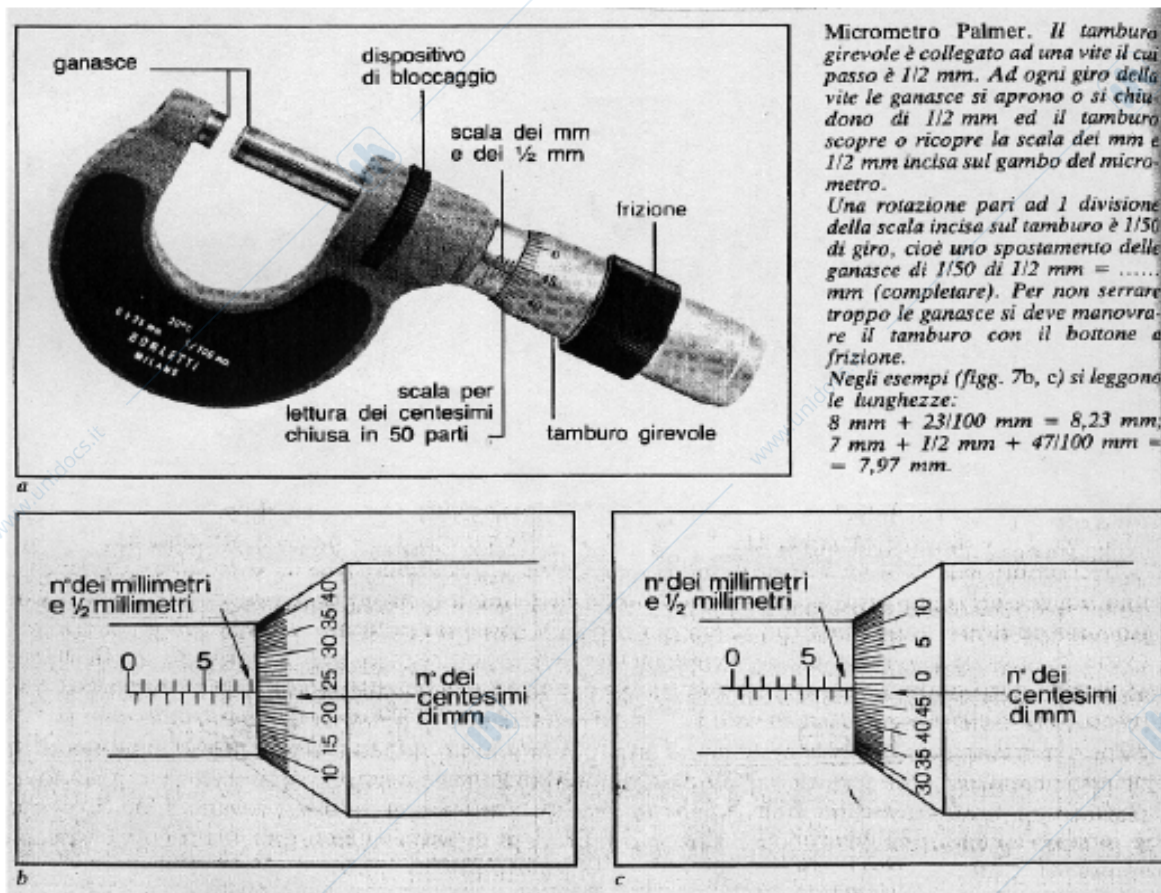
$\eta$  = viscosità,  $g$  = accelerazione di gravità,  $\rho$  = densità sferetta,  $\rho_0$  = densità liquido,  $r$  = raggio sferetta e  $v$  = velocità sferetta

La velocità del corpo è data da:  $v = h/t$  dove  $h$  è lo spazio che intercorre tra i due traguardi e si misura con il metro,  $t$  rappresenta il tempo di caduta della sferetta (tra i due traguardi) e si calcola con il cronometro. La misura va ripetuta 10 volte e si trova il tempo medio. Il raggio della sferetta si misura con il calibro di Palmer. La misura va ripetuta 10 volte e si trova il raggio medio. La densità

della sferetta è nota (fornita dalla casa produttrice); la densità del liquido si misura con la bilancia di MOHR-WESTPHAL. Ottenuti tutti i valori si procede al calcolo della viscosità del liquido in esame.

### Calibro di Palmer

Uno degli strumenti, usato per misurare spessori con la sensibilità di  $1/100$  mm, è il micrometro di Palmer. La sua portata è solitamente di 25 mm: da 0 a 25 mm, oppure da 25 a 50 mm, ecc. Fino ad un massimo di 100 mm. L'elevata sensibilità di lettura si ottiene misurando l'angolo di rotazione di una vite che, avanzando o retrocedendo, comanda la chiusura o l'apertura delle sue ganasce. La figura mostra l'aspetto di questo strumento ed il modo in cui si esegue la lettura.



## MISURA DELLA DENSITA' RELATIVA DI UN LIQUIDO CON LA BILANCIA IDROSTATICA DI MOHR-WESTPHAL

La bilancia idrostatica è uno fra gli strumenti più comunemente usati nella determinazione della densità di solidi e liquidi. Per i solidi il rapporto dei pesi necessari per equilibrare il corpo di densità incognita appeso ad uno dei bracci della bilancia prima in aria e poi immerso in acqua distillata a

$$4^{\circ}\text{C} \text{ (densità } \rho_0) \text{ fornisce la densità media del corpo: } \frac{W_2}{W_1} = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_x}$$

Per i liquidi la densità si ricava dalla differenza fra i pesi necessari per equilibrare un corpo di peso noto immerso prima in un liquido di densità nota e poi nel liquido incognito.

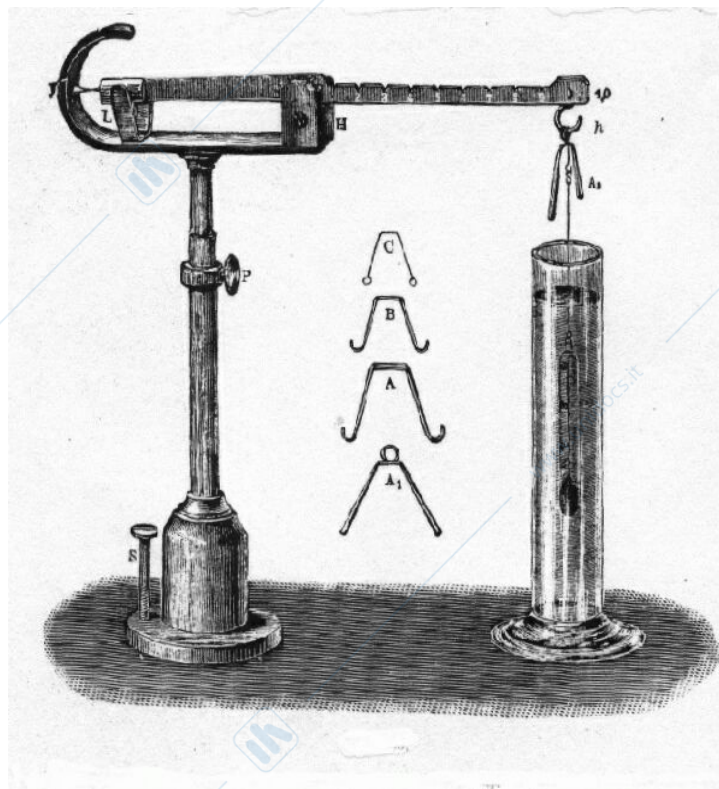


Figura 1. La bilancia di Mohr.

La bilancia di Mohr è una versione semplificata della bilancia idrostatica ideata in modo da fornire una misura rapida della densità relativa di un liquido. E' costituita da un giogo Lh (v. figura 1) che ha il fulcro in H e che si può alzare o abbassare mediante la vite P. La bilancia è del tipo a bracci

asimmetrici e senza piatti. Da una parte è appeso un immersore (talvolta costituito dallo stesso termometro); dall'altra un peso spostabile a vite lungo il braccio consente di equilibrare l'immersore in aria.

Il braccio Hh è diviso in 10 parti uguali. Con la bilancia poi sono forniti cinque "cavalierini", due dei quali, A e A<sub>1</sub>, hanno la stessa massa; gli altri B, C, D hanno masse rispettivamente 0,1, 0,01 e 0,001 volte la massa di A. Il peso del "cavalierino" A<sub>1</sub> è tale che, appeso all'uncino h ristabilisce l'equilibrio allorché l'immersore (termometro) è completamente immerso in acqua distillata a 4°C; esso pesa cioè quanto l'acqua spostata dall'immersore. La posizione di equilibrio della bilancia è quella per cui la punta fissa in L si trova esattamente di fronte alla punta J. E' poi evidente che il cavalierino A quando è posto sulla divisione n del giogo rappresenta un peso pari a n/10 di quello dell'acqua spostata dall'immersore; B ne rappresenta gli n/100 e C gli n/1000.

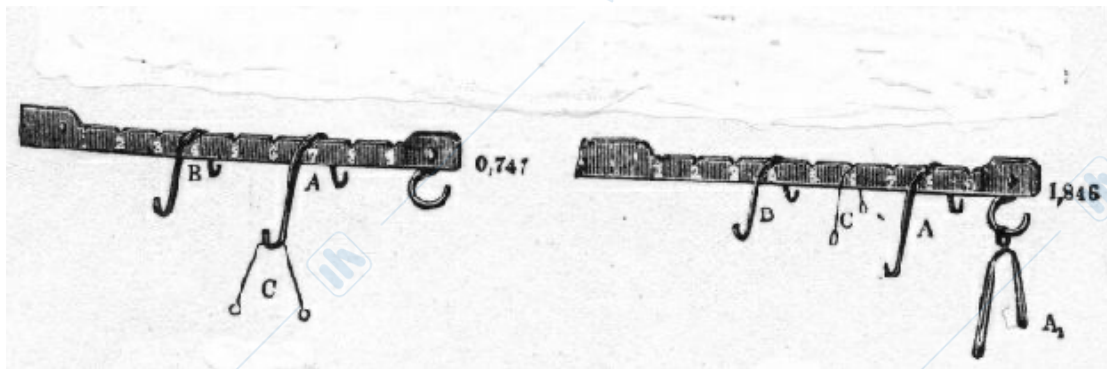


Figura 2. Particolare del giogo e dei cavalieri della bilancia di Mohr.

Ora se si vuole determinare la densità di un liquido supposto meno denso dell'acqua, basta immergervi l'immersore e collocare i cavalieri A, B, C in posizione tale da ristabilire l'equilibrio; i numeri corrispondenti alle posizioni di A, B, C daranno rispettivamente le centinaia, le decine e le unità della densità cercata. Si vede immediatamente che la situazione di figura 2a rappresenta una densità di  $747 \text{ kg/m}^3$  ( $0.747 \text{ g/cm}^3$ ).

Per i liquidi più densi dell'acqua, per ristabilire l'equilibrio bisogna appendere all'uncino h uno o più cavalieri uguali ad A<sub>1</sub> e, lungo il giogo, nelle divisioni opportune, gli altri cavalieri A, B e C come indica la figura 2b. Nell'esempio la densità risulta di  $1846 \text{ kg/m}^3$  ( $1.846 \text{ g/cm}^3$ )

In pratica si procede nel modo seguente:

- si verifica la verticalità del supporto di sostegno del giogo agendo sulla vite S.

- Ci si assicura che il giogo sia ad una sufficiente altezza compatibile con le dimensioni dell'immersore e del contenitore del liquido.
- Se l'equilibrio con l'immersore in aria non è raggiunto perfettamente si agisce sul peso a vite in L avvicinandolo o allontanandolo dal fulcro.
- Con l'immersore in acqua distillata, della quale si sarà rilevata la temperatura, si raggiunge un nuovo equilibrio collocando opportunamente i cavalierini.
- Si confronta il valore trovato con quello fornito in tab. I per l'acqua distillata alla temperatura dell'esperienza. Se i valori non concordano se ne fa il rapporto  $\frac{\rho_0}{\rho_{0m}} = k$  (dove  $\rho_0$  è il valore fornito dalle tabelle e  $\rho_{0m}$  quello della misura) ottenendo così un fattore correttivo.
- Si raggiunge infine un nuovo equilibrio con l'immersore nel liquido incognito, ottenendo  $\rho_{xm}$ . Per ottenere il valore corretto della densità del liquido incognito  $\rho_x$  si dovrà moltiplicare il valore misurato  $\rho_{xm}$  per il fattore correttivo k, cioè  $\rho_x = k\rho_{xm}$ . Il significato del fattore correttivo si può far risalire a imperfezioni intrinseche del dispositivo sperimentale (non identità tra la massa dei cavalieri maggiori con il volume dell'immersore; lievi differenze nei sottomultipli, irregolarità nella divisione del giogo, ecc.) e se ignorato introdurrebbe un errore sistematico nelle misure.