

# Il Corso di Fisica per Scienze Biologiche

- Prof. Attilio Santocchia
- Ufficio presso il Dipartimento di Fisica (Quinto Piano) Tel. 075-585 2708
- E-mail: [attilio.santocchia@pg.infn.it](mailto:attilio.santocchia@pg.infn.it)
- Web: <http://www.fisica.unipg.it/~attilio.santocchia>
- Testo: Fondamenti di Fisica (Halliday-Resnick-Walker, Casa Editrice Ambrosiana)

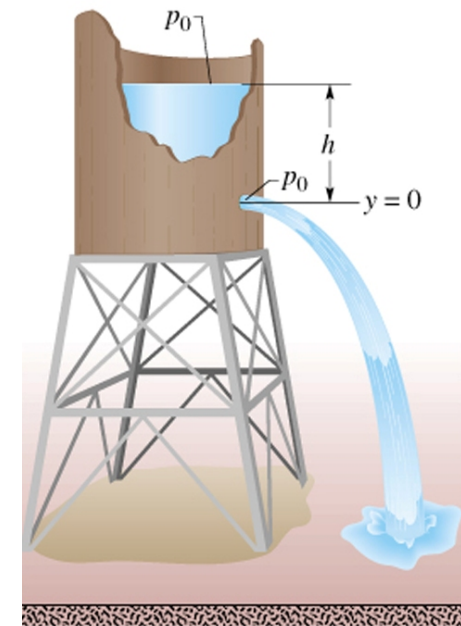
# Teorema di Torricelli

- ◆ Calcoliamo la velocità di uscita del liquido dal foro del serbatoio (vedi figura a lato)
- ◆ Applichiamo il teorema di Bernoulli

$$p + \rho gy + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{costante} \Rightarrow$$

$$\cancel{p_0} + \cancel{\rho gh} = \cancel{p_0} + \frac{1}{2} \cancel{\rho v^2} \Rightarrow$$

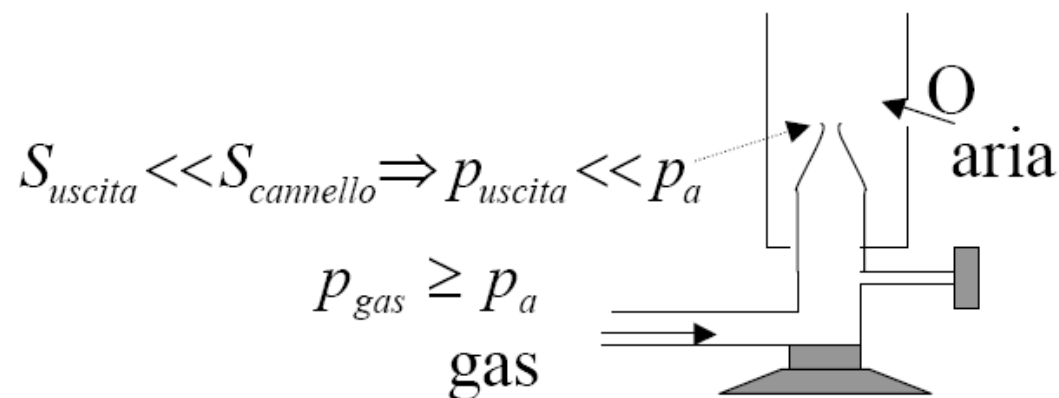
$$v = \sqrt{2gh}$$



- ◆ Avendo preso come zero dell'asse  $y$  la quota del foro e come  $h$  la distanza tra la superficie del liquido nel serbatoio e il foro
- ◆ Il teorema di Bernoulli viene applicato eguagliando i 2 termini sulla superficie del serbatoio ( $v=0$ ) e in corrispondenza del foro ( $h=0$ )

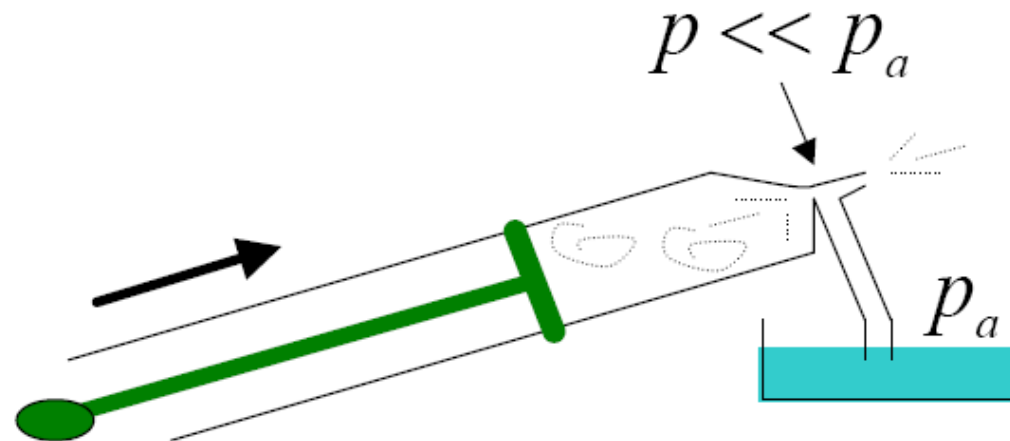
# Cannello Bunsen

- ◆ Il **cannello Bunsen** è uno strumento diffusissimo nei laboratori di biologia. Si usa per l'individuazione dei componenti di una sostanza. Si pone la sostanza da analizzare su un filo di platino e poi sulla fiamma uscente dal cannello. In base alla temperatura e al colore a cui la sostanza ossida si può determinarne i componenti
- ◆ A causa della strozzatura all'uscita del cannello la pressione dinamica  $p$  è molto inferiore a quella del gas e a quella atmosferica
- ◆ Per questa depressione, aria (e quindi ossigeno) viene richiamata dall'orifizio O
- ◆ Regolando la velocità del gas e la larghezza dell'apertura O è possibile regolare la fiamma, la sua dimensione e la composizione della miscela: più ossigeno  $\rightarrow$  fiamma ossidante, più gas  $\rightarrow$  fiamma riducente



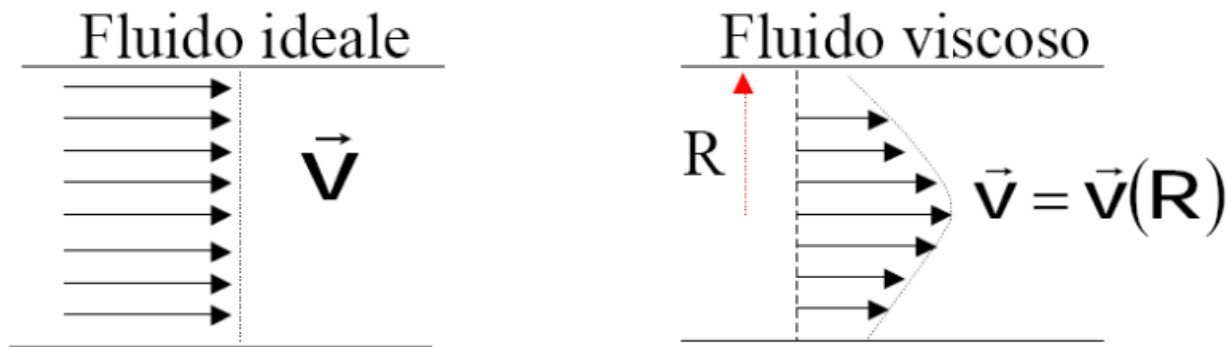
# Inalatori

- ◆ Il gas propellente contenuto nello stantuffo viene fatto uscire da un foro di ridotte dimensioni. Il gas acquista velocità causando una depressione proprio all'altezza del foro
- ◆ Tale depressione richiama la sostanza da spruzzare conservata all'interno di un serbatoio a pressione ambiente



# Viscosità

- ◆ Finora abbiamo ipotizzato che il fluido sia ideale e che il sistema sia meccanicamente conservativo. Rimuoviamo quest'ultima condizione:
- ◆ Esistono delle forze dissipative all'interno del fluido in movimento
- ◆ Il fluido all'interno del tubo scorre come su tante guaine cilindriche che scivolano una dentro l'altra
  - Questo tipo di moto si chiama laminare
  - Esso è dovuto all'attrito fra il fluido e le pareti e internamento tra strati adiacenti del fluido



# Viscosità

- ◆ La forza di attrito esercitata su un'areola  $\Delta S$  ha verso opposto al moto del fluido e vale:

$$F = \eta \frac{dv}{dy} \Delta S$$

- ◆ il rapporto  $dv/dy$  rappresenta la variazione (gradiente) di velocità  $dv$  fra due straterelli di fluido a distanza  $dy$
- ◆  $\eta$  è detto coefficiente di viscosità o semplicemente viscosità e si misura in  $\text{Pa}\cdot\text{s} = 10 \text{ Poise}$  (da un tizio di nome Poiseuille) = 1000 cP (centiPoise)
- ◆ La viscosità dipende fortemente dalla temperatura: al crescere di  $T$ ,  $\eta$  diminuisce rapidamente
  - $\eta(\text{H}_2\text{O})$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C} = 1\text{cP}$  mentre a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  vale  $1.79 \text{ cP}$  e a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  vale  $0.28 \text{ cP}$
  - $\eta(\text{vetri}) \sim 10^8 \text{ P}$ ;  $\eta(\text{olii}) \sim 1\div 100 \text{ P}$ ;  $\eta(\text{alcoli}) \sim 0.1\div 1 \text{ cP}$
- ◆ La viscosità di un fluido invalida la legge di Bernoulli (sistema non più conservativo)

# Sedimentazione

- ◆ Un corpo solido in moto, immerso in un fluido, subisce, oltre alla forza peso  $P$  e alla spinta idrostatica di Archimede  $F_s$ , la forza di attrito viscoso  $F$ .
- ◆ Se il moto è sufficientemente lento (supponiamolo mono-dimensionale) si ha che vale:

$$\vec{F} = -k\eta l\vec{v}$$

- ◆ dove  $\eta$  è la viscosità,  $l$  è una dimensione lineare del corpo e  $k$  è un coefficiente di forma del corpo (cx in gergo automobilistico)
- ◆ Per una sfera di raggio  $R$  vale la formula (nota come legge di Stokes):

$$|\vec{F}| = 6\pi\eta Rv$$

- ◆ Consideriamo un corpo di densità  $\rho$  e volume  $V$  che cade, con velocità costante, all'interno di un fluido di densità  $\rho'$ . Il moto è rettilineo uniforme:

$$\vec{P} + \vec{F}_s + \vec{F} = 0 \Rightarrow P - F_s - F = 0 \Rightarrow \rho Vg - \rho' Vg = k\eta l v$$
$$v = \frac{V(\rho - \rho')g}{k\eta l}$$

Se il liquido è il sangue e i corpuscoli in caduta sono i globuli rossi si parla di:

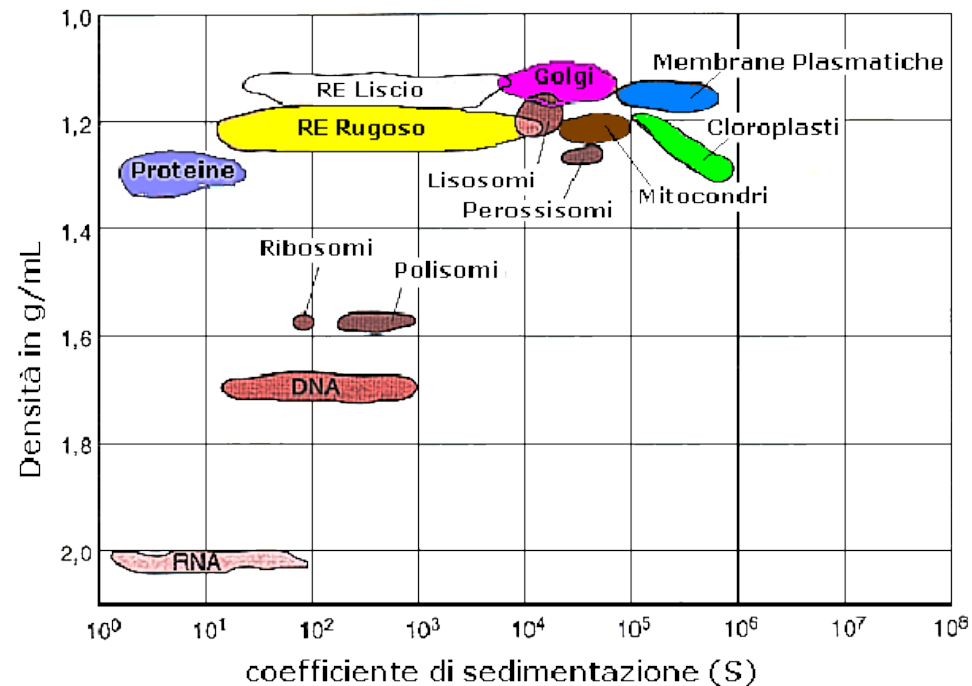
**velocità di eritrosedimentazione o v.e.s.**

# Coefficiente di sedimentazione

- ◆ La sedimentazione di una particella sferica ha quindi una velocità di sedimentazione pari a:

$$v = \frac{V(\rho - \rho')g}{k\eta l} = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3(\rho - \rho')g}{6\pi\eta R} = \frac{2}{9} \frac{R^2(\rho - \rho')}{\eta} g = Sg$$

- ◆ Dove S è il coefficiente di Sedimentazione





# Centrifugazione

- ◆ Alle sospensioni viene applicata una forza centripeta attraverso la rotazione ad alta velocità (Campo centrifugo).
- ◆ Viene sfruttata la differenza di densità tra le particelle ed il mezzo in cui sono sospese
- ◆ Consideriamo un solido di densità  $\rho$  e volume  $V$  immerso in un fluido di densità  $\rho'$ . Mettiamo il tutto in una provetta a distanza  $R$  dall'asse di rotazione. Per il primo principio della dinamica, per mantenere il corpuscolo in rotazione a distanza  $R$  dall'asse occorre una forza centripeta:  $F=m\omega^2R$  da cui si definisce un campo centrifugo  $G=F/m$

$$G = \frac{4\pi^2 \cdot (RPM)^2}{3600} \cdot r$$

- ◆ In genere il campo centrifugo viene espresso come campo centrifugo relativo (RCF) come multiplo della costante gravitazionale ( $980 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$ ):

$$RCF = \frac{G}{g} = \frac{4\pi^2 \cdot (RPM)^2}{3600 \times 980} \cdot r = 1,11 \cdot 10^{-5} (RPM)^2 \cdot r$$

- ◆ Tipici valori per le centrifughe sono 5000 RPM per centrifughe da banco fino a oltre 80000 RPM per centrifughe Ultra.

# Centrifugazione

- ◆ Le formule sono analoghe a quelle viste per il principio della sedimentazione
- ◆ Al posto della forza di gravità si utilizza la rotazione del fluido per generare una forza
- ◆ La forza centripeta, che mantiene il corpuscolo a distanza fissa  $R$  dall'asse di rotazione, è fornita dalle forze di pressioni radiali che agiscono sul corpuscolo
- ◆ Se tale forza non è sufficiente a mantenere il corpuscolo a distanza  $R$  dall'asse, esso si muoverà verso l'esterno
- ◆ C'è quindi separazione tra solido (il corpuscolo) e il liquido



# Centrifugazione

- ◆ La velocità con cui avviene tale separazione si ottiene ipotizzando che la differenza fra la forza centripeta necessaria e quella di spinta presente sia uguale alla forza di attrito viscoso
- ◆ Analogamente al caso della sedimentazione si ha quindi:

$$\vec{F}_{centr} + \vec{F}_s + \vec{F} = 0 \Rightarrow \rho V \omega^2 R - \rho' V \omega^2 R = k \eta l v$$
$$v = \frac{V(\rho - \rho')\omega^2 R}{k \eta l}$$

- ◆ sostituendo dei valori numerici di esempio si può verificare che tale velocità è ben superiore a quella ottenibile per sedimentazione