

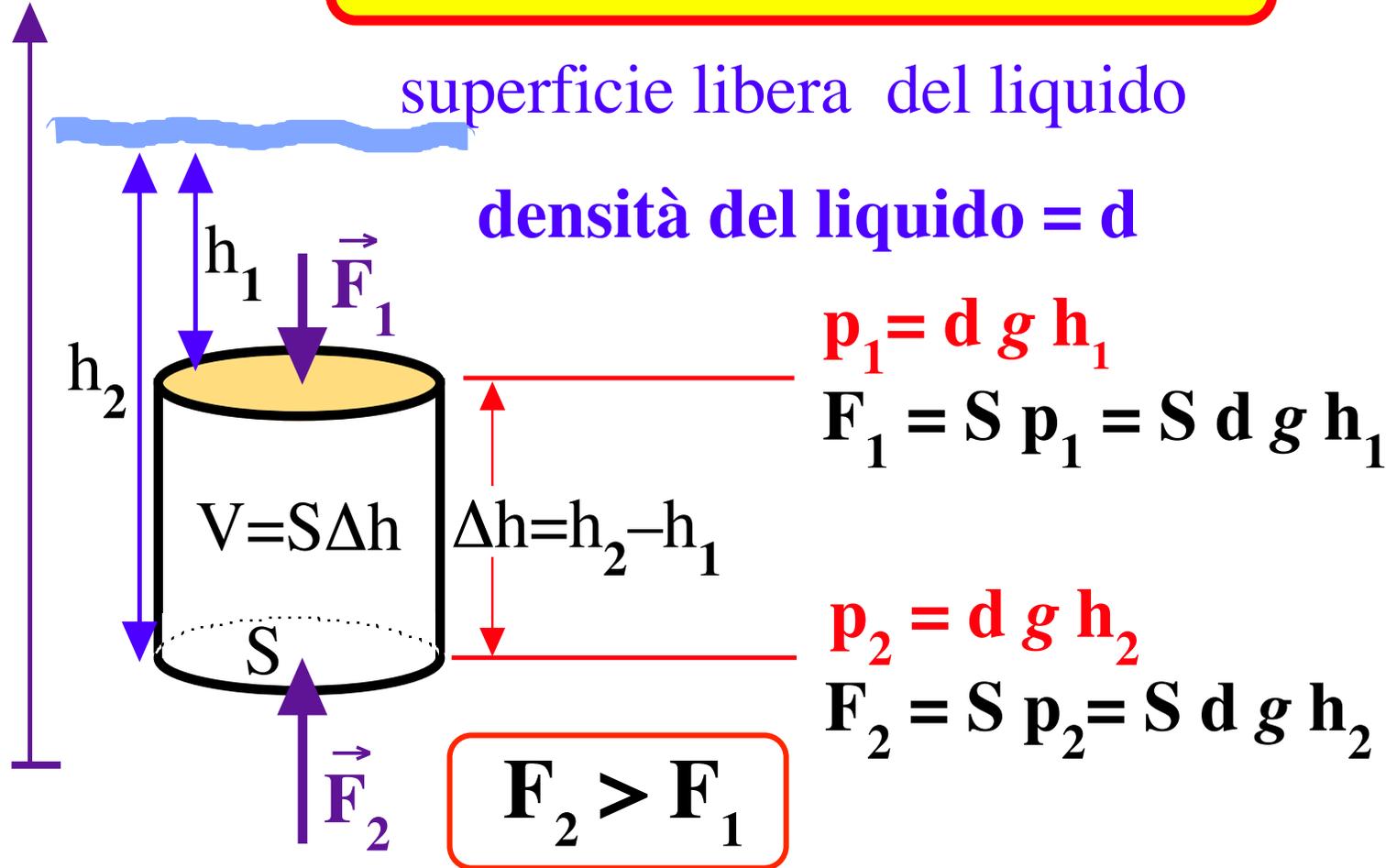
# FENOMENI di TRASPORTO

- SPINTA DI ARCHIMEDE
- TRASPORTO IN REGIME VISCOSO
- SEDIMENTAZIONE
- MOTO CIRCOLARE UNIFORME
- CENTRIFUGAZIONE
- ELETTROFORESI

Lucidi del Prof. D. Scannicchio

# SPINTA di ARCHIMEDE

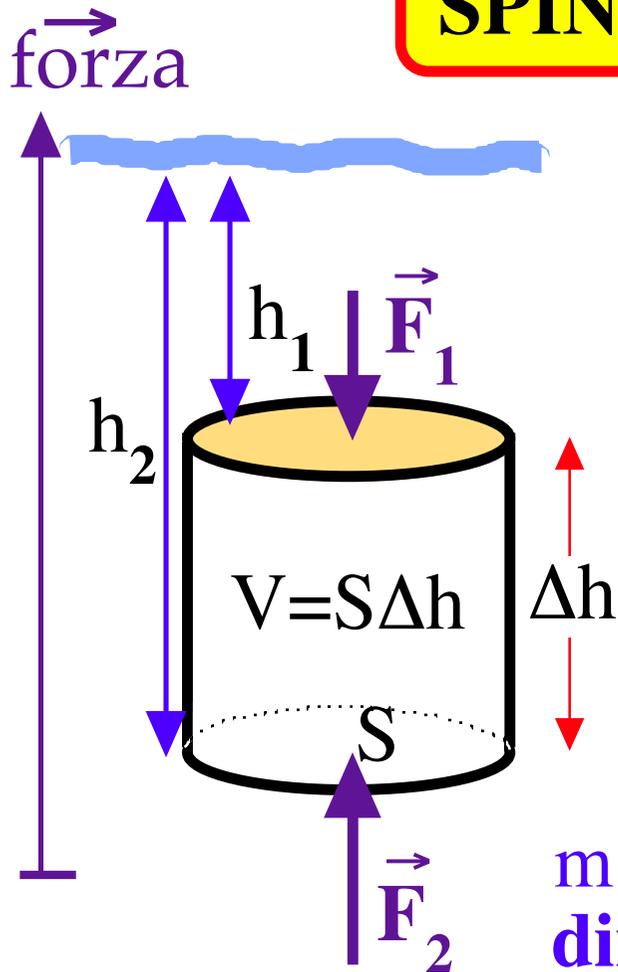
forza  $\vec{F}$



$$\vec{S}_A = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (\text{forze positive verso l'alto})$$

$$S_A = -F_1 + F_2 = F_2 - F_1 = S d g (h_2 - h_1) =$$

## SPINTA di ARCHIMEDE



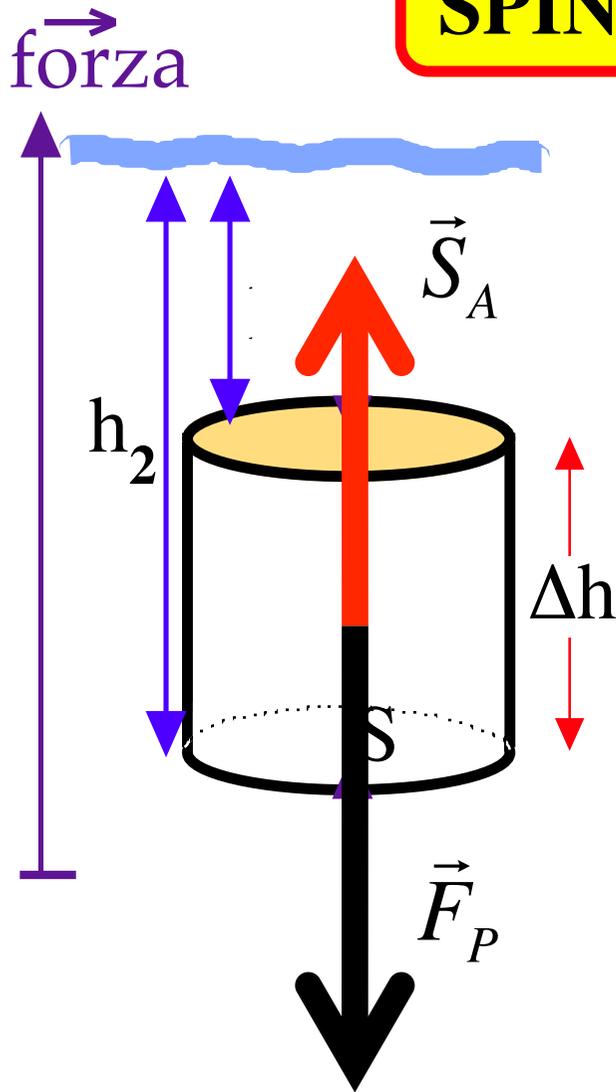
$$\begin{aligned}
 S_A &= -F_1 + F_2 = F_2 - F_1 = \\
 &= S d g (h_2 - h_1) = \\
 &= S d g \Delta h = V d g = \mathbf{m g}
 \end{aligned}$$

**spinta di Archimede**  $S_A = m g$

variazione di pressione  
idrostatica sul corpo

$m$  = massa di liquido spostato  
direzione e verso = **verticale verso l'alto**

# SPINTA di ARCHIMEDE



$$\text{spinta di Archimede } \vec{S}_A = m g = V d g$$

variazione di pressione  
idrostatica sul corpo

Se il cilindro ha massa  $m'$   
e densità  $d'$   
e' soggetto ad una forza peso:

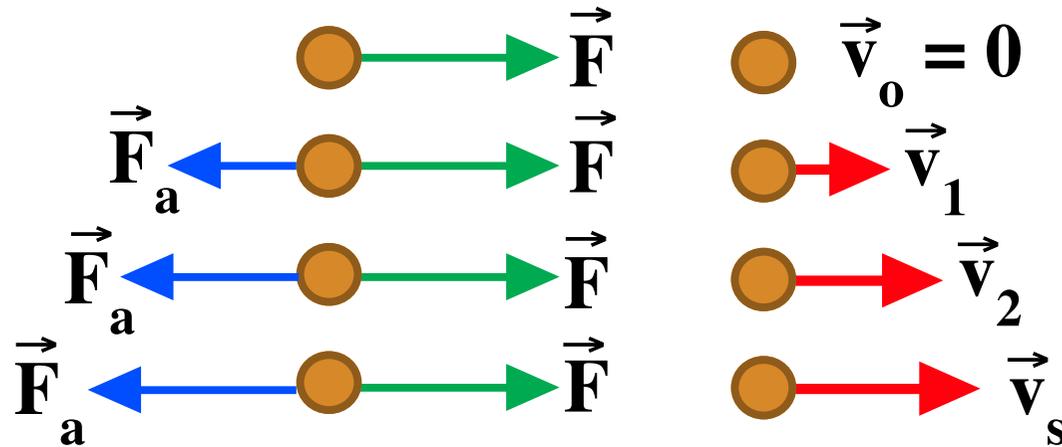
$$F_P = m' g = V d' g$$

Se  $d' > d \Rightarrow$  corpo affonda  
 $d' < d \Rightarrow$  corpo galleggia

# TRASPORTO IN REGIME VISCOSO

$\vec{F}$  = forza agente

$$\vec{F}_a = -f \vec{v}$$



**equilibrio dinamico**

sotto l'influenza di  $F$  il corpo inizia ad accelerare  $\Rightarrow v > 0$

se  $v > 0$  la forza di attrito aumenta

alla velocità  $v_s$  la forza totale agente è nulla  
 $\Rightarrow$  moto rettilineo uniforme con velocità  $v_s$

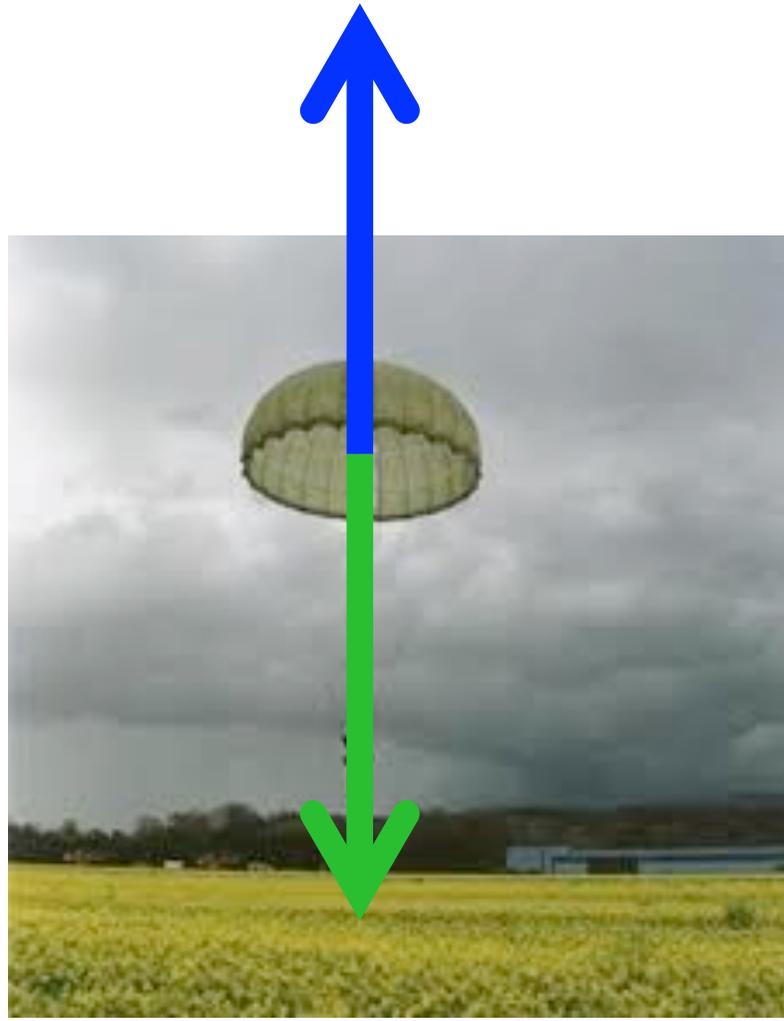
**velocità di spostamento**

$$\vec{F}_a + \vec{F} = 0$$

$$\vec{F}_a = -F \quad \rightarrow \quad -f v = -F$$

$$v = v_s = \frac{F}{f}$$





# TRASPORTO IN REGIME VISCOSO

velocità di spostamento

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_s = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{f}}$$

(anche detta  
velocità di trascinamento  
o velocità limite)

particella sferica  
(legge di Stokes)

$$\mathbf{F}_a = 6\pi \eta r v$$

$$\mathbf{f} = 6\pi \eta r$$

$$\mathbf{v}_s = \frac{\mathbf{F}}{6\pi \eta r}$$

# TRASPORTO IN REGIME VISCOSO

$$v_s = \frac{F}{f}$$

$\vec{F}$  = forza peso\*  $\rightarrow$  sedimentazione

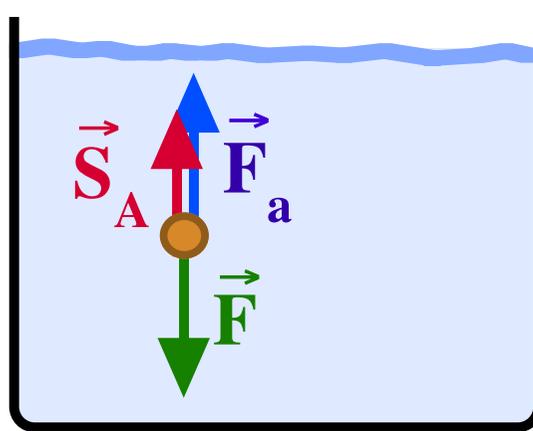
$\vec{F}$  = forza elettrica  $\rightarrow$  elettroforesi

$\vec{F}$  = forza centrifuga\*\*  $\rightarrow$  centrifugazione

\* spinta di Archimede idrostatica }  
\*\* spinta di Archimede centrifuga } fluidi

# SEDIMENTAZIONE

$m, V, d$  = massa, volume, densità particella  
 $m', d'$  = massa, densità liquido



$$\vec{F} = m \vec{g}$$

$$\vec{S}_A = -m' \vec{g}$$

$$\vec{F}_a = -f \vec{v}$$

**equilibrio dinamico**

$$\vec{F}_a + \vec{F} + \vec{S}_A = 0 \quad \rightarrow \quad F - S_A = F_a = f v = f v_s$$

$$v_s = \frac{F - S_A}{f} = \frac{mg - m'g}{f} = \frac{dVg - d'Vg}{f}$$

# SEDIMENTAZIONE

$$v_s = \frac{F - S_A}{f} = \frac{mg - m'g}{f} = \frac{dVg - d'Vg}{f}$$

$v_s$  = velocità di sedimentazione

$$v_s = \frac{Vg (d - d')}{f}$$

particella sferica  $\longrightarrow$   $f = 6\pi \eta r$

$$v_s = \frac{Vg (d - d')}{f} = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 g (d - d')}{6\pi \eta r}$$

$$v_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (d - d')}{\eta}$$

# VELOCITA' di ERITROSEDIMENTAZIONE

$$v_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (d - d')}{\eta}$$

## applicazione in Medicina :

velocita' di sedimentazione degli eritrociti nel sangue anche detta

**Velocità di EritroSedimentazione = VES**  
(indice diagnostico)

**VES normale  $\approx 6 \div 7 \text{ mm ora}^{-1}$**

La sedimentazione degli eritrociti e' un fenomeno complesso: dipende anche dalle dimensioni e dal numero di formazioni di aggregati di eritrociti e dalla composizione del plasma, i quali possono alterarsi in uno stato tossico od infettivo.

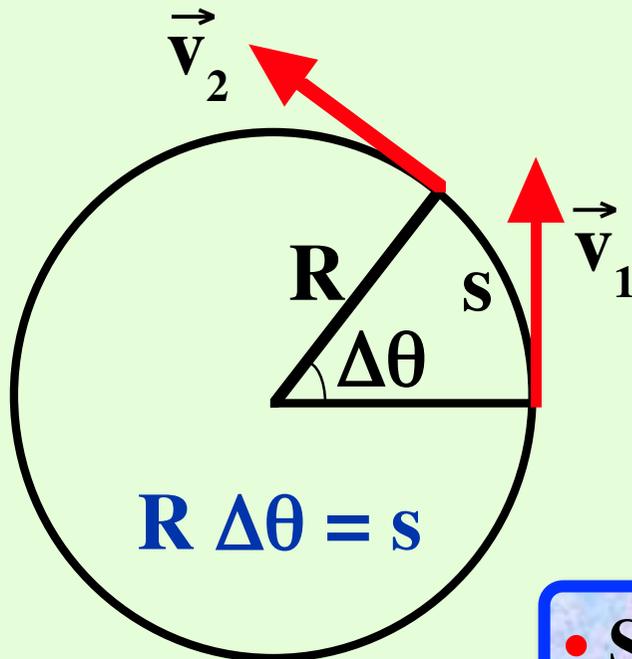
**non utilizzabile per particelle più piccole**  
(necessario aumentare la forza agente  $\vec{F}$ )



# MOTO CIRCOLARE UNIFORME

**traiettoria**  $\equiv$  circonferenza    **velocità** costante in modulo

$$|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$$



**velocità angolare**

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

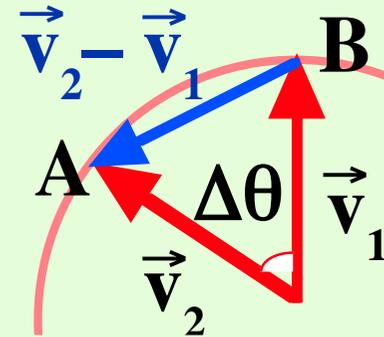
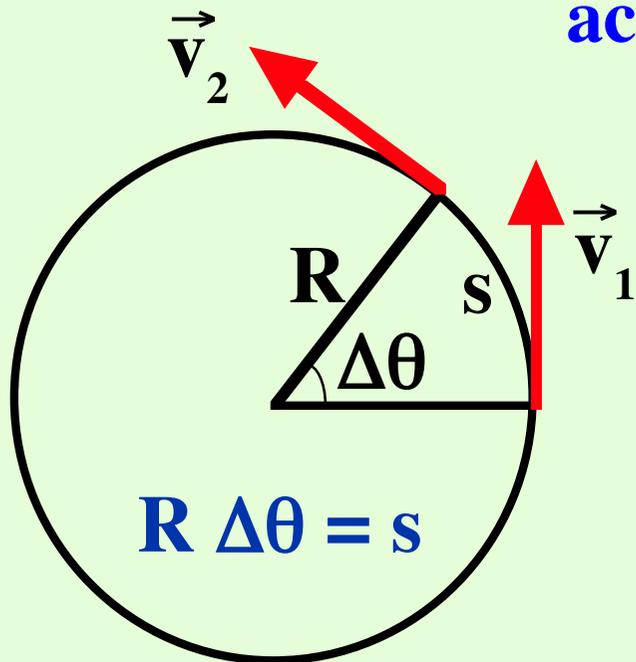
$$[\omega] = [t]^{-1}$$

• S.I. e C.G.S.     $s^{-1} = \text{Hertz (Hz)}$

$$v = \frac{s}{\Delta t} = \frac{R \Delta\theta}{\Delta t} = R \omega \quad \longrightarrow \quad v = R \omega$$

# MOTO CIRCOLARE UNIFORME

accelerazione



$$a = \frac{|\vec{v}_2 - \vec{v}_1|}{\Delta t} = \frac{|\vec{AB}|}{\Delta t} = \frac{\overline{AB}}{\Delta t} \approx \frac{\widehat{AB}}{\Delta t} = \frac{v \Delta\theta}{\Delta t} = v \omega = \omega^2 R$$

( $\Delta t$  piccolo)

$$a = \omega^2 R$$

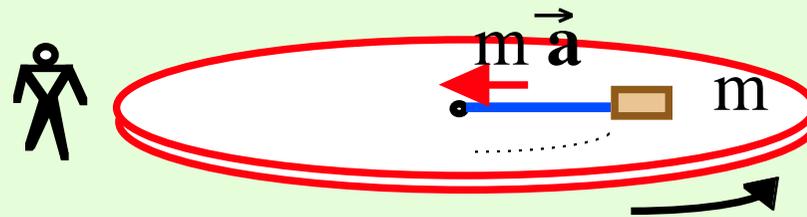
# FORZA CENTRIFUGA

corpo massa  $m$  in moto circolare uniforme

sistemi di riferimento inerziali

**A - OSSERVATORE INERZIALE**

$$F_{\text{centripeta}} = m \omega^2 R$$



corpo si muove di moto circolare :

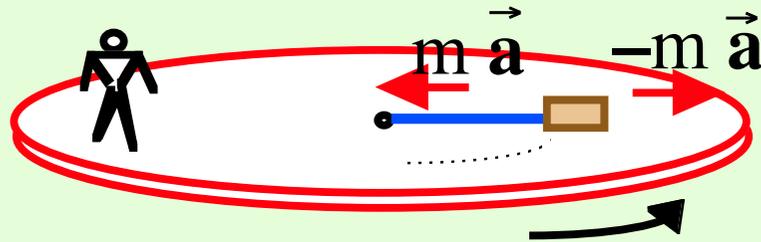
$$\vec{T} = m \vec{a}$$

fune applica forza  $\vec{T}$  che causa accelerazione centripeta



# FORZA CENTRIFUGA

## B - OSSERVATORE RUOTANTE (NON INERZIALE)



corpo fermo :  $\vec{F}_{\text{totale}} = 0$

forza di tensione  $\vec{T}$  ( $= m \vec{a}$ ) della fune controbilanciata da  
una forza **apparente**  $\vec{F} = -m \vec{a}$  (forza centrifuga)

$$\mathbf{F} = m \omega^2 \mathbf{R}$$

direzione centrifuga

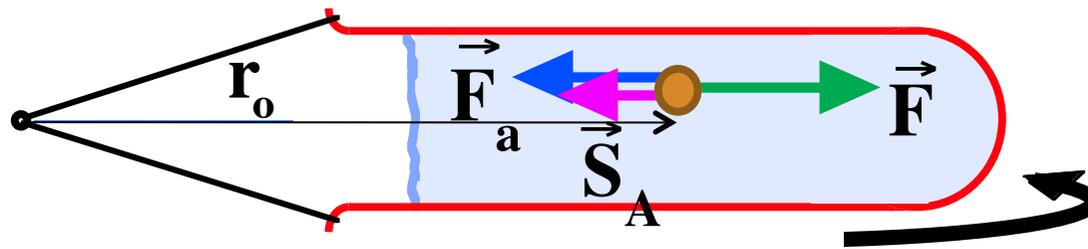




**$F = m \omega^2 R$**   
direzione centrifuga

# CENTRIFUGAZIONE

provetta in rotazione



$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= m \omega^2 \mathbf{r}_o \\ \mathbf{S}_A &= -m' \omega^2 \mathbf{r}_o \\ \mathbf{F}_a &= -\mathbf{f} \mathbf{v} \end{aligned}$$

(forza peso trascurabile)

(si trascurano anche le variazioni di  $r_o$  che usualmente e' molto piu' grande della distanza percorsa dalla particella nella centrifuga =>  $r_o \sim \text{cost.}$ )

$m, V, d$  = massa, volume, densità particella  
 $m', d'$  = massa, densità liquido

**equilibrio dinamico**  $\vec{\mathbf{F}}_a + \vec{\mathbf{F}} + \vec{\mathbf{S}}_A = \mathbf{0}$

$$\mathbf{F} - \mathbf{S}_A = \mathbf{F}_a = \mathbf{f} \mathbf{v} = \mathbf{f} \mathbf{v}_s \quad \longrightarrow \quad \mathbf{v}_s = \frac{\mathbf{F} - \mathbf{S}_A}{\mathbf{f}}$$



## CENTRIFUGAZIONE

$$\begin{aligned} v_s &= \frac{F - S_A}{f} = \frac{m\omega^2 r_o - m'\omega^2 r_o}{f} = \frac{dV\omega^2 r_o - d'V\omega^2 r_o}{f} = \\ &= \frac{V\omega^2 r_o (d - d')}{f} \end{aligned}$$

**particella sferica**  $\longrightarrow$   $f = 6\pi \eta r$

$$v_s = \frac{V\omega^2 r_o (d - d')}{f} = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 \omega^2 r_o (d - d')}{6\pi \eta r}$$

# CENTRIFUGAZIONE

$$\frac{V\omega^2 r_o (d - d')}{f}$$

**particella sferica**  $\longrightarrow$   $f = 6\pi \eta r$

$$v_s = \frac{V\omega^2 r_o (d - d')}{f} = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 \omega^2 r_o (d - d')}{6\pi \eta r}$$

$$v_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 \omega^2 r_o (d - d')}{\eta}$$

## CENTRIFUGAZIONE

**esempio**

centrifuga : raggio  $r_0 = 10 \text{ cm}$  ,  $\omega = 10000 \text{ r.p.m.} = 10^4 \text{ r.p.m.}$

- $\omega = 10000 \text{ r.p.m.} = \frac{10^4 2\pi}{60 \text{ s}} = 1.05 10^3 \text{ s}^{-1}$
- $a = \omega^2 r_0 = (1.05 10^3 \text{ s}^{-1})^2 \times 10 \text{ cm} = 1.1 10^7 \text{ cm s}^{-2}$   
 $\approx 10^4 g$  (*g accelerazione di gravita'*)  
(cioe' 10000 volte la forza di gravita' !!)

con questi valori di centrifugazione:

vel. sedimentazione di albumina in acqua  $\sim 5 10^{-6} \text{ cm/s}$

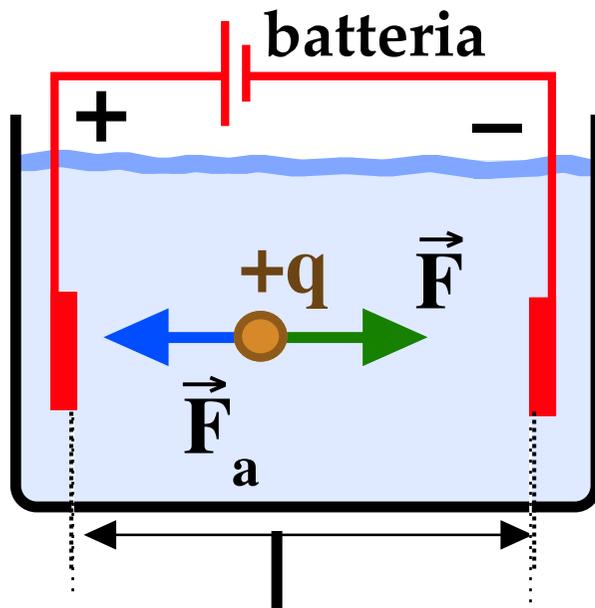
vel. sedimentazione del virus influenzale in acqua  $\sim 7 10^{-4} \text{ cm/s}$



# ELETTROFORESI

moto orizzontale

particella dotata di carica elettrica  $+q$   
sottoposta all'azione di un campo elettrico  $\vec{E}$



$$\vec{F} = +q \vec{E} \quad \vec{F}_a = -f \vec{v}$$

**equilibrio dinamico**

$$\vec{F}_a + \vec{F} = 0 \longrightarrow \mathbf{F} = \mathbf{F}_a = f \mathbf{v} = f \mathbf{v}_s$$

$$\mathbf{v}_s = \frac{\mathbf{F}}{f} = \frac{q \mathbf{E}}{f}$$

particella sferica :  $f = 6\pi \eta r$

$$\mathbf{v}_s = \frac{q \mathbf{E}}{6\pi \eta r}$$