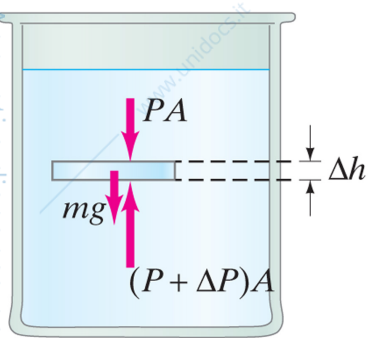


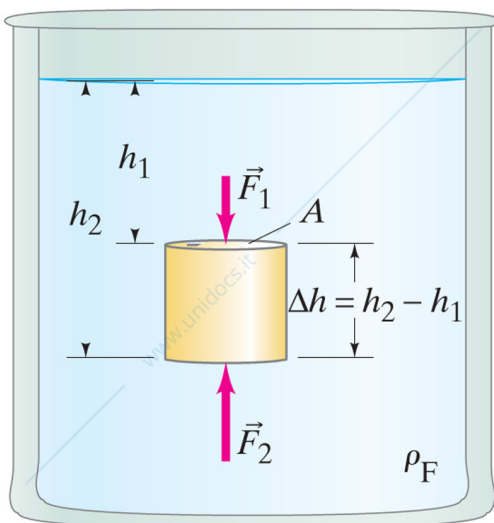
Il principio di Archimede

- Se un oggetto viene immerso in un fluido il suo peso sembra minore di quello che risulta all'esterno del fluido.
- Il galleggiamento deriva dall'equilibrio di due forze: la forza peso, che spinge l'oggetto verso il basso e una forza di galleggiamento, esercitata dal liquido, che spinge l'oggetto verso l'alto.
- La forza di galleggiamento origina dal fatto che la pressione in un fluido aumenta con la profondità (aumentando la massa di liquido sovrastante) per cui, la pressione sulla faccia inferiore (diretta verso l'alto) del cilindro è maggiore di quella sulla faccia superiore (diretta verso il basso).

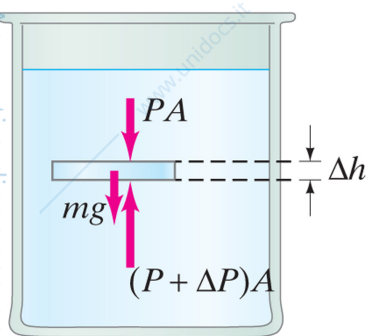
Il principio di Archimede: $F_A = \rho_L Vg$



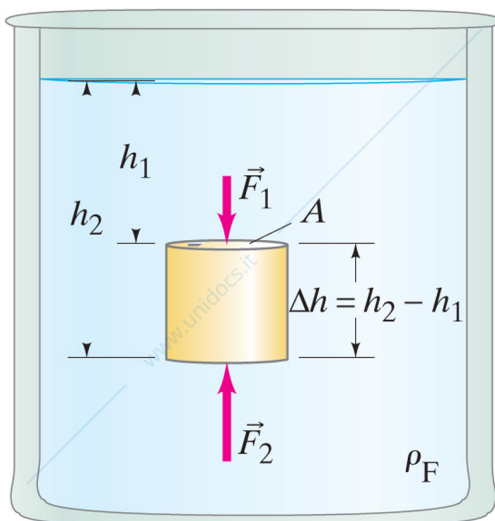
- Lamina fluida in equilibrio (principio di solidificazione)



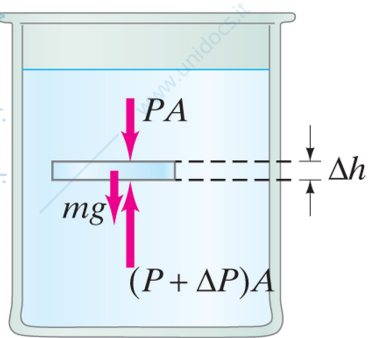
Il principio di Archimede: $F_A = \rho_L Vg$



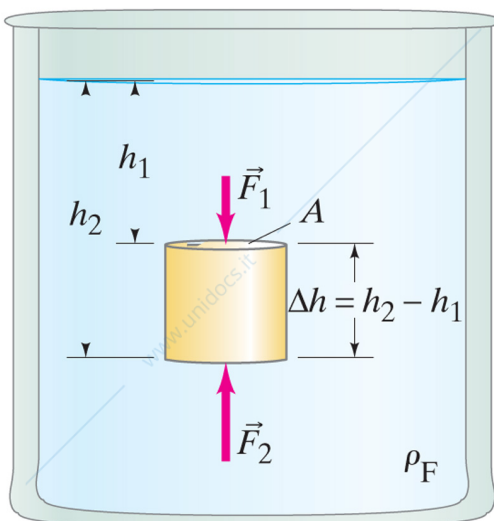
- Lamina fluida in equilibrio (principio di solidificazione)
- La pressione in un fluido aumenta con la profondità



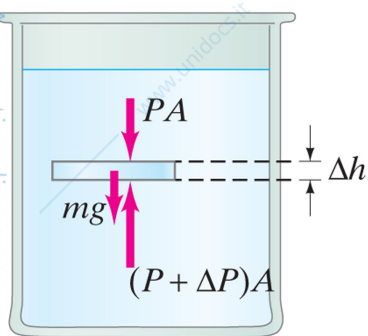
Il principio di Archimede: $F_A = \rho_L Vg$



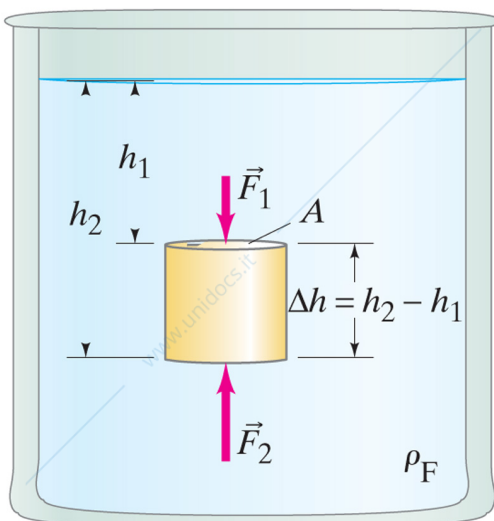
- Lamina fluida in equilibrio (principio di solidificazione)
- La pressione in un fluido aumenta con la profondità
- La pressione è perpendicolare alla superficie (Pascal)



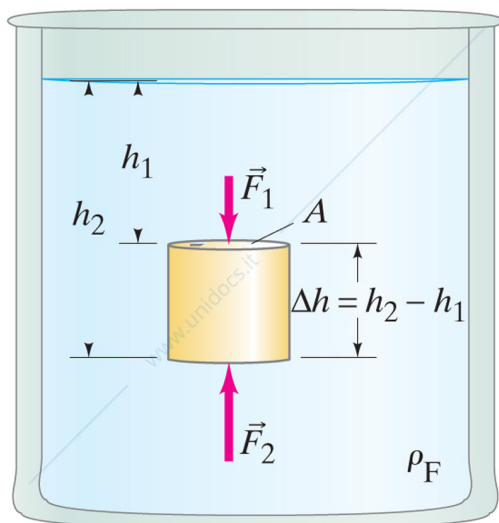
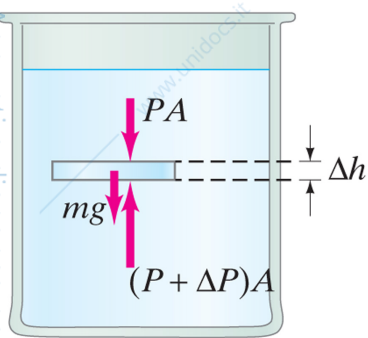
Il principio di Archimede: $F_A = \rho_L Vg$



- Lamina fluida in equilibrio (principio di solidificazione)
- La pressione in un fluido aumenta con la profondità
- La pressione è perpendicolare alla superficie (Pascal)
- Sulla superficie superiore $P_1 = \rho g h_1$ verso il basso

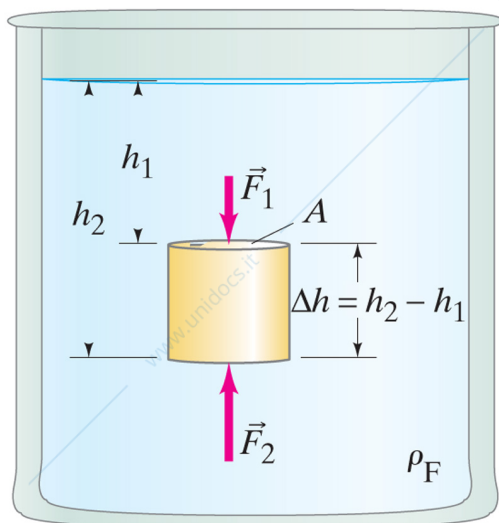
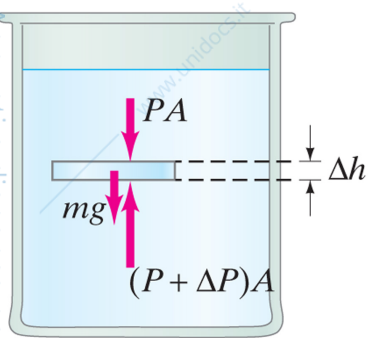


Il principio di Archimede: $F_A = \rho_L Vg$



- Lamina fluida in equilibrio (principio di solidificazione)
- La pressione in un fluido aumenta con la profondità
- La pressione è perpendicolare alla superficie (Pascal)
- Sulla superficie superiore $P_1 = \rho gh_1$ verso il basso
- Sulla superficie inferiore $P_2 = \rho gh_2$ verso l'alto

Il principio di Archimede: $F_A = \rho_L Vg$



- Lamina fluida in equilibrio (principio di solidificazione)
- La pressione in un fluido aumenta con la profondità
- La pressione è perpendicolare alla superficie (Pascal)
- Sulla superficie superiore $P_1 = \rho g h_1$ verso il basso
- Sulla superficie inferiore $P_2 = \rho g h_2$ verso l'alto
- quindi $\Delta P = \rho g (h_2 - h_1) = \rho A \Delta h = m_f g$
- Se, anzichè un fluido in quiete abbiamo un solido con ρ_s ($\rho_s > \rho_L, \rho_s = \rho_L, \rho_s < \rho_L$)

I fluidi reali: oltre Bernoulli, la viscosità

- In un fluido reale gli attriti interni non sono trascurabili: \Rightarrow viscosità e caoticità del moto.

I fluidi reali: oltre Bernoulli, la viscosità

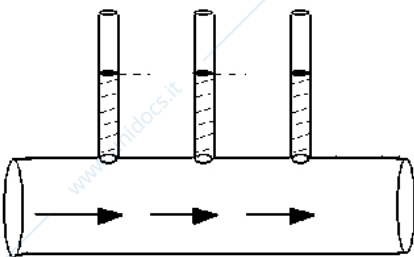
- In un fluido reale gli attriti interni non sono trascurabili: \Rightarrow viscosità e caoticità del moto.
- Per mantenere un fluido in moto in un condotto orizzontale serve una ΔP

I fluidi reali: oltre Bernoulli, la viscosità

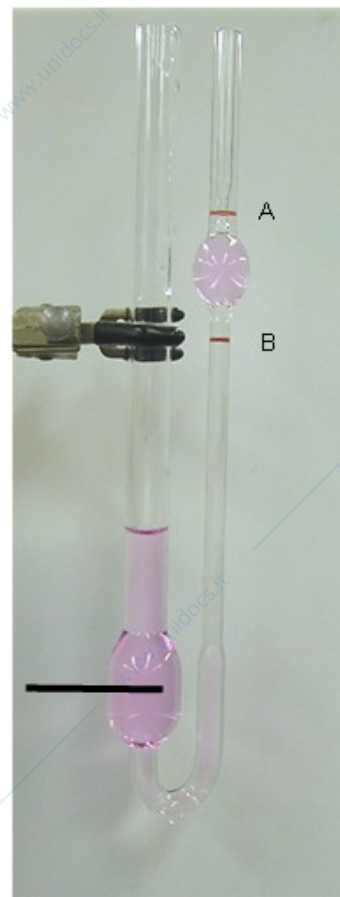
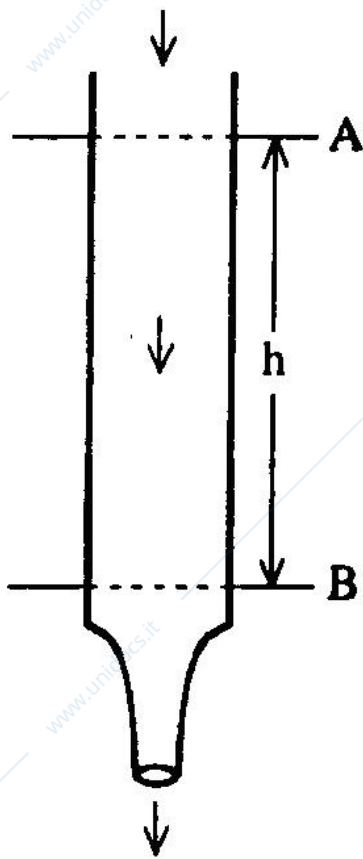
- In un fluido reale gli attriti interni non sono trascurabili: \Rightarrow viscosità e caoticità del moto.
- Per mantenere un fluido in moto in un condotto orizzontale serve una ΔP
- Si può definire una **resistenza idrodinamica**

I fluidi reali: oltre Bernoulli, la viscosità

- In un fluido reale gli attriti interni non sono trascurabili: \Rightarrow viscosità e caoticità del moto.
- Per mantenere un fluido in moto in un condotto orizzontale serve una ΔP
- Si può definire una **resistenza idrodinamica**
- La natura molecolare della viscosità è ancora non del tutto compresa

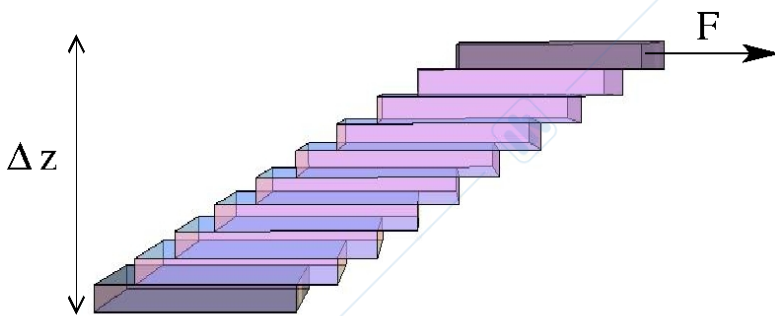


Misure di viscosità: viscosimetri



Il moto laminare

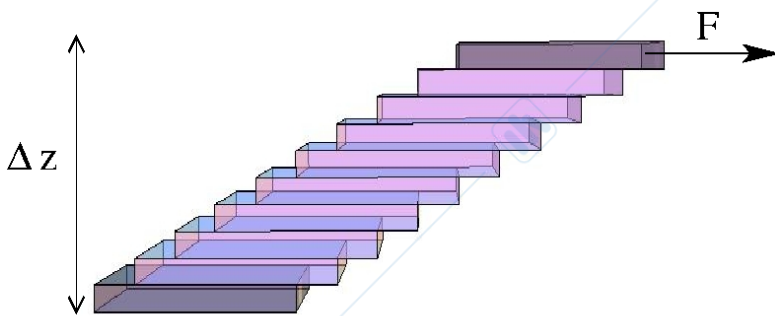
La forza viscosa $F = \eta \cdot A \frac{\Delta v}{\Delta z}$



- La forza viscosa dipende dalla quota Δz

Il moto laminare

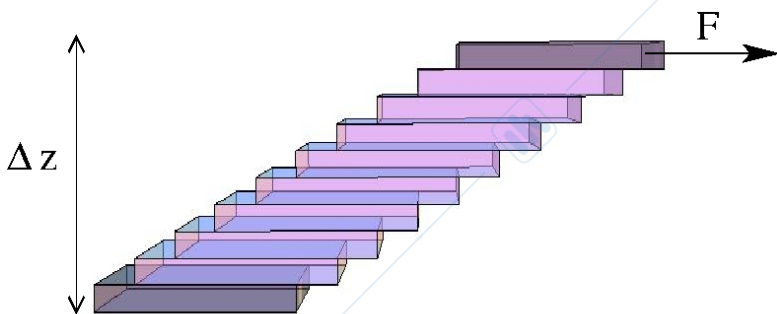
La forza viscosa $F = \eta \cdot A \frac{\Delta v}{\Delta z}$



- La forza viscosa dipende dalla quota Δz
- Si ha proporzionalità con l'area A .

Il moto laminare

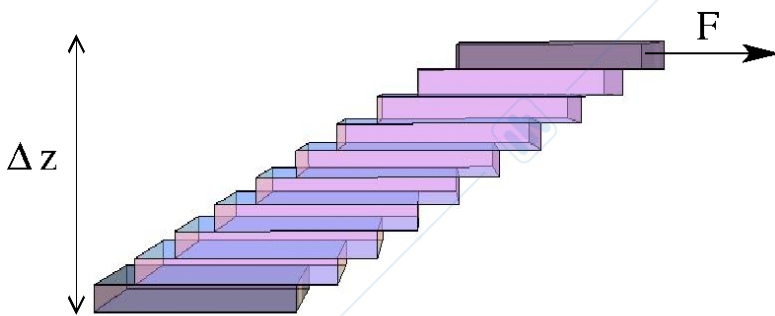
La forza viscosa $F = \eta \cdot A \frac{\Delta v}{\Delta z}$



- La forza viscosa dipende dalla quota Δz
- Si ha proporzionalità con l'area A .
- La velocità delle lamine diminuisce con Δz .

Il moto laminare

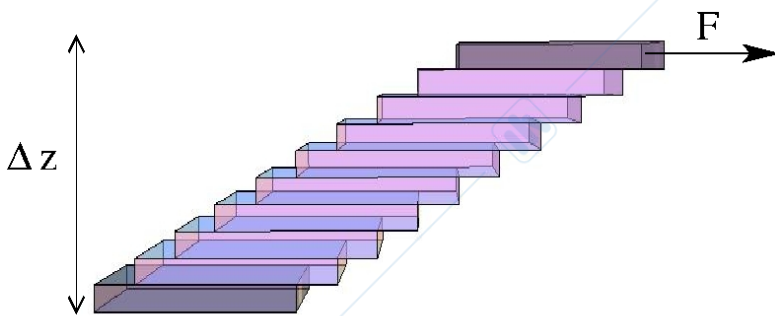
La forza viscosa $F = \eta \cdot A \frac{\Delta v}{\Delta z}$



- La forza viscosa dipende dalla quota Δz
- Si ha proporzionalità con l'area A .
- La velocità delle lamine diminuisce con Δz .
- $\eta = \frac{F \Delta z}{\Delta v \Delta A}$.

Il moto laminare

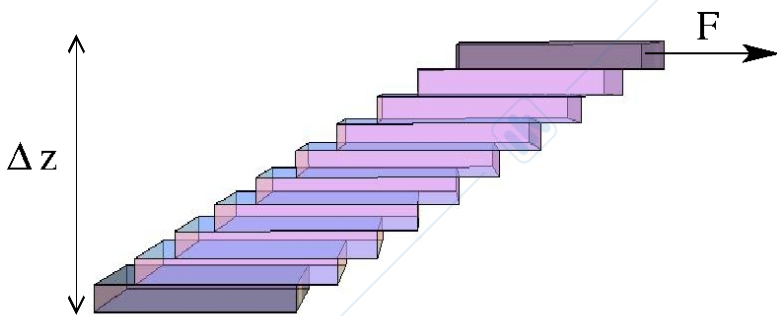
La forza viscosa $F = \eta \cdot A \frac{\Delta v}{\Delta z}$



- La forza viscosa dipende dalla quota Δz
- Si ha proporzionalità con l'area A .
- La velocità delle lamine diminuisce con Δz .
- $\eta = \frac{F \Delta z}{\Delta v \Delta A}$.
- η si misura in $Pa \cdot s$ (Poise).

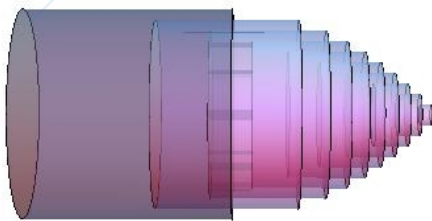
Il moto laminare

La forza viscosa $F = \eta \cdot A \frac{\Delta v}{\Delta z}$

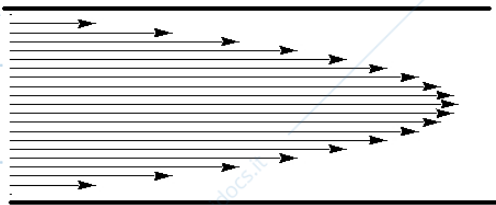


- La forza viscosa dipende dalla quota Δz
- Si ha proporzionalità con l'area A .
- La velocità delle lamine diminuisce con Δz .
- $\eta = \frac{F \Delta z}{\Delta v \Delta A}$.
- η si misura in $Pa \cdot s$ (Poise).

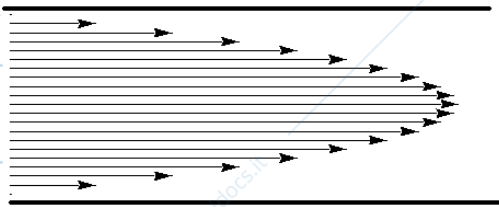
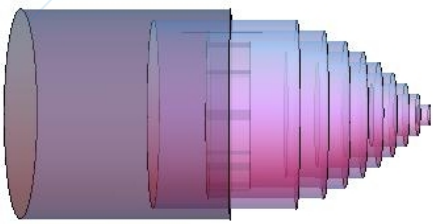
Il moto laminare dei fluidi reali



- Strati cilindrici coassiali di raggio r compresi fra 0 e R.

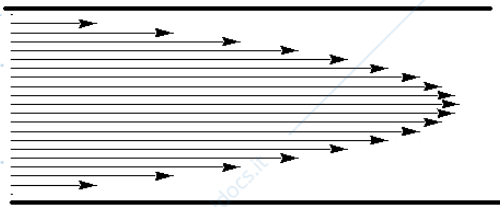
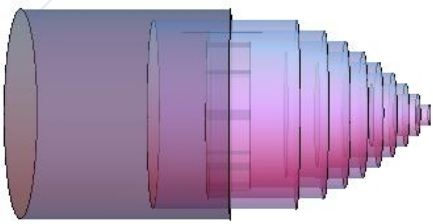


Il moto laminare dei fluidi reali



- Strati cilindrici coassiali di raggio r compresi fra 0 e R .
- Le velocità variano a seconda della distanza dall'asse.

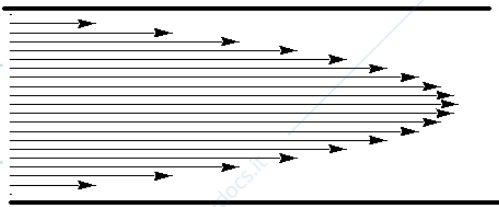
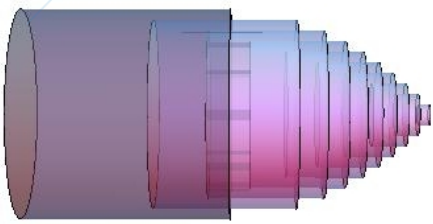
Il moto laminare dei fluidi reali



- Strati cilindrici coassiali di raggio r compresi fra 0 e R .
- Le velocità variano a seconda della distanza dall'asse.
- Le velocità dei diversi strati sono date da:

$$v(r) = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{P_1 - P_2}{l} \right] (R^2 - r^2)$$

Il moto laminare dei fluidi reali



- Strati cilindrici coassiali di raggio r compresi fra 0 e R .
- Le velocità variano a seconda della distanza dall'asse.
- Le velocità dei diversi strati sono date da:

$$v(r) = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{P_1 - P_2}{l} \right] (R^2 - r^2)$$

- v massima sull'asse $r = 0$, $v = 0$ sulla parete ($r = R$)

La legge di Poiseuille: $\Delta P = R \cdot Q$

La legge di Poiseuille dimostra che in un condotto dove scorre un fluido viscoso in regime laminare, a parità degli altri parametri, la portata aumenta con la quarta potenza del Raggio della condotta.

La legge di Poiseuille: $\Delta P = R \cdot Q$

La legge di Poiseuille dimostra che in un condotto dove scorre un fluido viscoso in regime laminare, a parità degli altri parametri, la portata aumenta con la quarta potenza del Raggio della condotta.

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

La legge di Poiseuille: $\Delta P = R \cdot Q$

La legge di Poiseuille dimostra che in un condotto dove scorre un fluido viscoso in regime laminare, a parità degli altri parametri, la portata aumenta con la quarta potenza del Raggio della condotta.

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

- ΔP è la variazione di pressione (ovvero perdita di carico).

La legge di Poiseuille: $\Delta P = R \cdot Q$

La legge di Poiseuille dimostra che in un condotto dove scorre un fluido viscoso in regime laminare, a parità degli altri parametri, la portata aumenta con la quarta potenza del Raggio della condotta.

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

- ΔP è la variazione di pressione (ovvero perdita di carico).
- l è la lunghezza del condotto.

La legge di Poiseuille: $\Delta P = R \cdot Q$

La legge di Poiseuille dimostra che in un condotto dove scorre un fluido viscoso in regime laminare, a parità degli altri parametri, la portata aumenta con la quarta potenza del Raggio della condotta.

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

- ΔP è la variazione di pressione (ovvero perdita di carico).
- l è la lunghezza del condotto.
- η è la viscosità dinamica del fluido considerato.

La legge di Poiseuille: $\Delta P = R \cdot Q$

La legge di Poiseuille dimostra che in un condotto dove scorre un fluido viscoso in regime laminare, a parità degli altri parametri, la portata aumenta con la quarta potenza del Raggio della condotta.

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

- ΔP è la variazione di pressione (ovvero perdita di carico).
- l è la lunghezza del condotto.
- η è la viscosità dinamica del fluido considerato.
- Definendo $R = \frac{8l\eta}{\pi r^4}$ si ottiene $\Delta P = R \cdot Q$ che è formalmente analoga alla legge di Ohm.

La legge di Poiseuille: $\Delta P = R \cdot Q$

La legge di Poiseuille dimostra che in un condotto dove scorre un fluido viscoso in regime laminare, a parità degli altri parametri, la portata aumenta con la quarta potenza del Raggio della condotta.

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

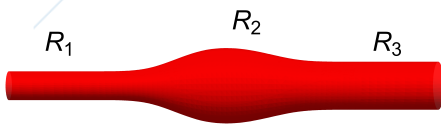
- ΔP è la variazione di pressione (ovvero perdita di carico).
- l è la lunghezza del condotto.
- η è la viscosità dinamica del fluido considerato.
- Definendo $R = \frac{8l\eta}{\pi r^4}$ si ottiene $\Delta P = R \cdot Q$ che è formalmente analoga alla legge di Ohm.

Conseguenze della legge di Poiseuille

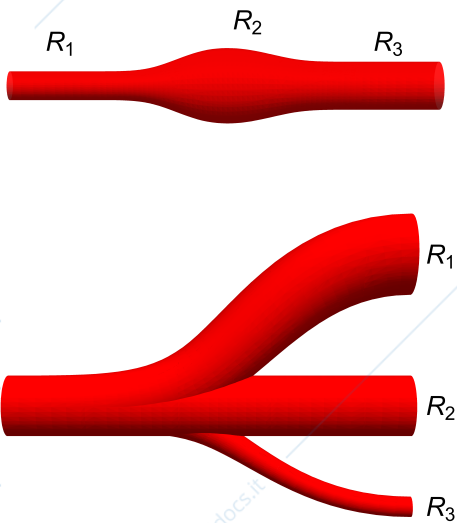
- La legge di Poiseuille può essere applicata al flusso sanguigno nel corpo umano anche se il sangue non si muove sempre di moto laminare, ma ci sono alcune zone in cui il moto è turbolento (imbocco dell'aorta "rumori cardiaci").
- Il sangue non è incomprimibile poiché contiene delle cellule al suo interno.
- Se il raggio delle arterie viene ridotto (indurimento delle pareti arteriose e deposito di colesterolo), la resistenza idrodinamica aumenta, e quindi, per mantenere la stessa portata occorre aumentare la pressione, es. se il raggio diminuisce della metà, il cuore deve aumentare la pressione di un fattore 2^4 per mantenere la stessa portata.
- Il lavoro cardiaco aumenta ma non riesce a mantenere la portata originale, quindi una pressione sanguigna alta significa che il cuore sta lavorando più che in condizioni normali, e che la portata sanguigna è comunque ridotta.

Resistenze in serie e in parallelo

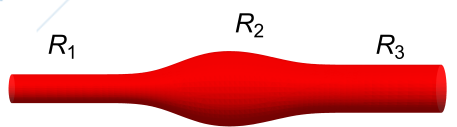
Resistenze in serie e in parallelo



Resistenze in serie e in parallelo

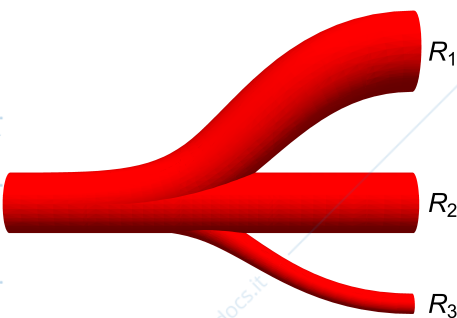


Resistenze in serie e in parallelo

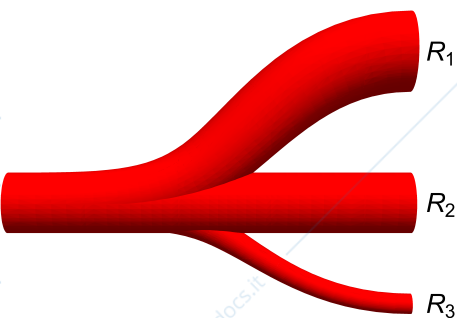
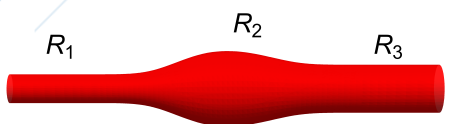


- La resistenza totale di n resistori in serie è data dalla somma delle resistenze di ciascun resistore:

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



Resistenze in serie e in parallelo



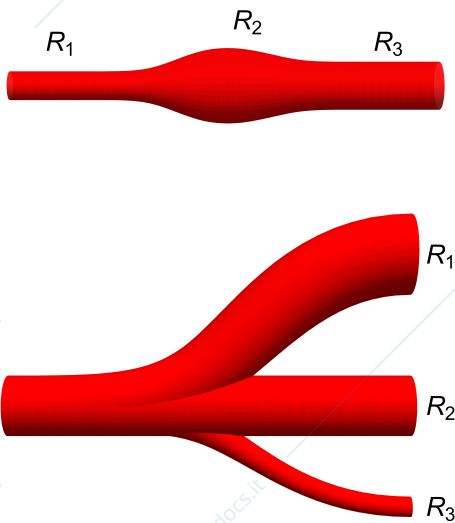
- La resistenza totale di n resistori in serie è data dalla somma delle resistenze di ciascun resistore:

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

- La resistenza totale di n resistori in parallelo è data da:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \text{ reciproco della somma dei reciproci .}$$

Resistenze in serie e in parallelo



- La resistenza totale di n resistori in serie è data dalla somma delle resistenze di ciascun resistore:

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

- La resistenza totale di n resistori in parallelo è data da:

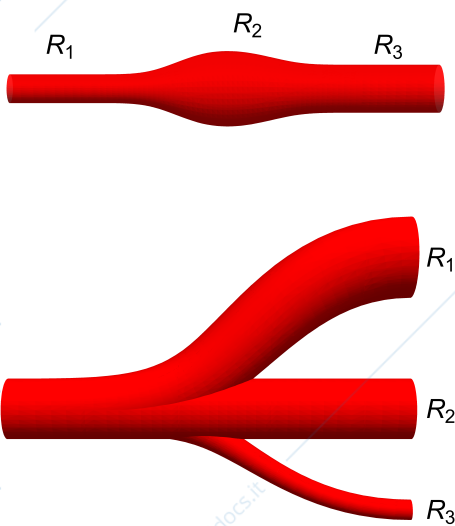
$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \text{ reciproco della somma dei reciproci .}$$

- Per due resistori:

$$R_{\text{eq}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

e se sono uguali $R_{\text{eq}} = \frac{R}{2}$

Resistenze in serie e in parallelo



- La resistenza totale di n resistori in serie è data dalla somma delle resistenze di ciascun resistore:

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

- La resistenza totale di n resistori in parallelo è data da:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \text{ reciproco della somma dei reciproci .}$$

- Per due resistori:

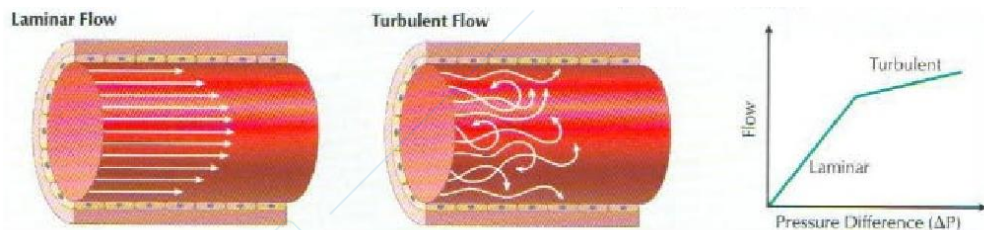
$$R_{\text{eq}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

e se sono uguali $R_{\text{eq}} = \frac{R}{2}$

Il moto turbolento

- Le considerazioni precedenti sono valide in condizioni di flusso laminare. Ma il moto dei fluidi reali può essere turbolento. Le turbolenze appaiono quando il fluido possiede un'alta velocità: in questo caso le linee di corrente acquistano una struttura complessa e la legge di Poiseuille non è più valida.
- Al crescere della velocità, cominciano a formarsi dei gorgi (vortici). Poiché la velocità nei vortici è elevata, si ha corrispondentemente una diminuzione di pressione (resistenza di pressione). Inoltre, l'esistenza di linee di velocità lungo direzioni differenti da quella del condotto evidenziano come diventi sempre più difficile per il fluido procedere lungo il condotto (a parità di pressione applicata).
- Le condizioni in cui comincia a manifestarsi il moto vorticoso dipendono dalla velocità del fluido, dalla sua densità e viscosità, e dalla forma del condotto.

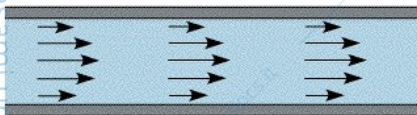
Il moto turbolento: Il numero di Reynolds



Turbulent

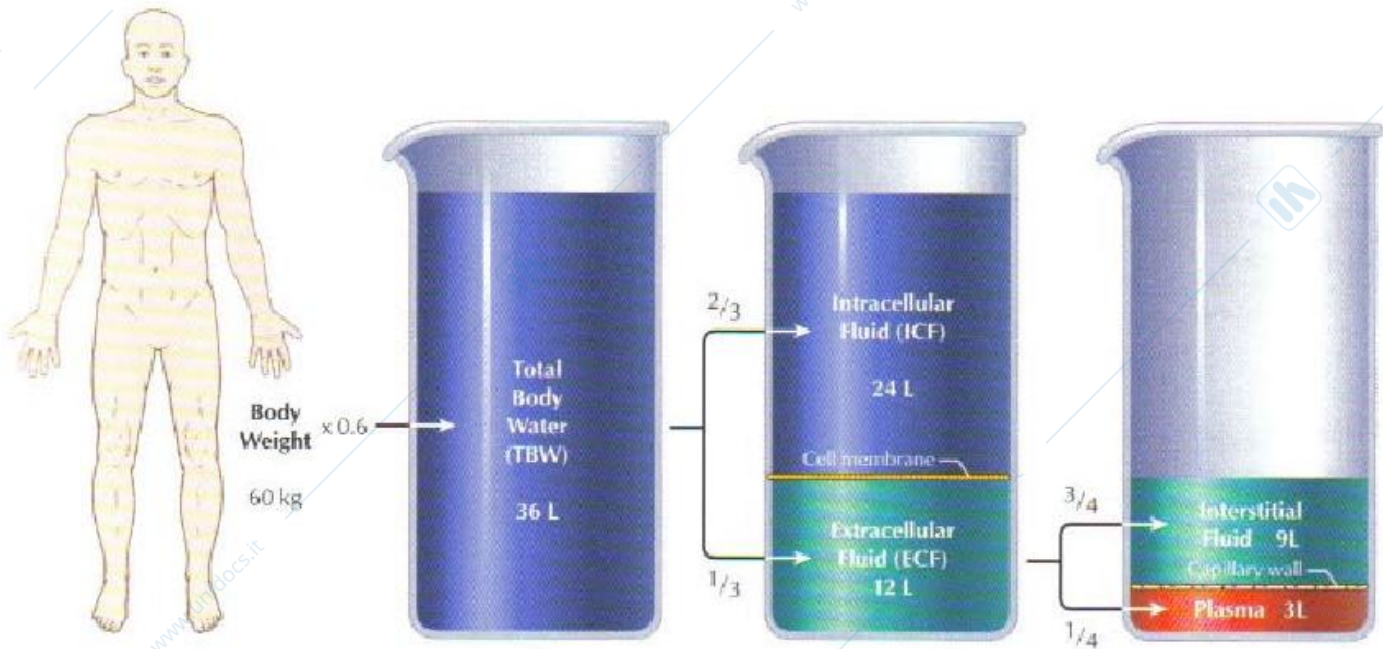


Laminar

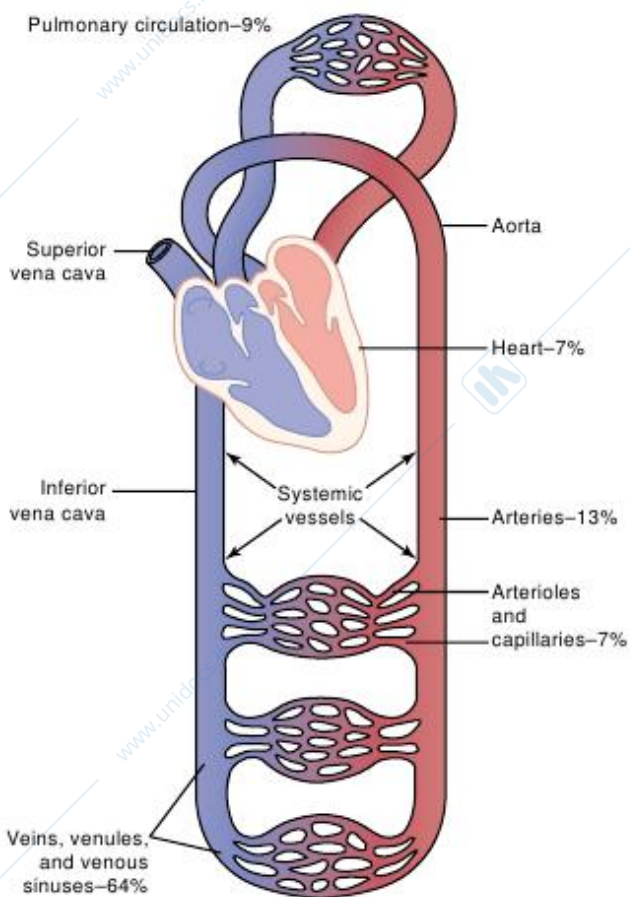


- il numero di Reynolds: $R = \frac{\rho v L}{\eta}$
- v è la velocità media del fluido,
- η è la viscosità, e ρ è la densità del fluido
- L è il diametro del tubo

Applicazioni Mediche: Fluidi biologici



Distribuzione del volume sanguigno



Vessel	Cross-Sectional Area (cm^2)
Aorta	2.5
Small arteries	20
Arterioles	40
Capillaries	2500
Venules	250
Small veins	80
Venae cavae	8

- L'area delle vene è ≈ 4 volte le arterie (\Rightarrow contengono più sangue)
- Come si calcolano le velocità?

Distribuzione delle pressioni

- Costanza della portata $\Rightarrow v \approx \text{cost}/A$ (proporzionalità inversa).

Distribuzione delle pressioni

- Costanza della portata $\Rightarrow v \approx \text{cost}/A$ (proporzionalità inversa).
- A riposo $v_{AORTA} \approx 33 \text{ cm/sec}$, $v_{CAPILLARI} \approx v_{AORTA}/1000$, $\approx 0.3 \text{ mm/sec}$. Poichè $l_{CAPILLARI} \approx 0.3 - 1 \text{ mm}$, il sangue resta nei capillari per 1-3 sec (Tempo corto per gli scambi)

Distribuzione delle pressioni

- Costanza della portata $\Rightarrow v \approx \text{cost}/A$ (proporzionalità inversa).
- A riposo $v_{AORTA} \approx 33 \text{ cm/sec}$, $v_{CAPILLARI} \approx v_{AORTA}/1000$, $\approx 0.3 \text{ mm/sec}$. Poichè $l_{CAPILLARI} \approx 0.3 - 1 \text{ mm}$, il sangue resta nei capillari per 1-3 sec (Tempo corto per gli scambi)
- Il cuore pompa sangue continuamente e quindi, in media $P_{AORTA} \approx 100 \text{ mmHg}$

Distribuzione delle pressioni

- Costanza della portata $\Rightarrow v \approx cost/A$ (proporzionalità inversa).
- A riposo $v_{AORTA} \approx 33\text{cm/sec}$, $v_{CAPILLARI} \approx v_{AORTA}/1000$, $\approx 0.3\text{mm/sec}$. Poichè $l_{CAPILLARI} \approx 0.3 - 1\text{mm}$, il sangue resta nei capillari per 1-3 sec (Tempo corto per gli scambi)
- Il cuore pompa sangue continuamente e quindi, in media $P_{AORTA} \approx 100\text{mmHg}$
- A causa della pulsatilità,
 $P_{DIAST} = 80\text{mmHg} < P_{ARTERIOSA} < P_{SIST} = 120\text{mmHg}$

Distribuzione delle pressioni

- Costanza della portata $\Rightarrow v \approx \text{cost}/A$ (proporzionalità inversa).
- A riposo $v_{AORTA} \approx 33 \text{ cm/sec}$, $v_{CAPILLARI} \approx v_{AORTA}/1000$, $\approx 0.3 \text{ mm/sec}$. Poichè $l_{CAPILLARI} \approx 0.3 - 1 \text{ mm}$, il sangue resta nei capillari per 1-3 sec (Tempo corto per gli scambi)
- Il cuore pompa sangue continuamente e quindi, in media $P_{AORTA} \approx 100 \text{ mmHg}$
- A causa della pulsatilità,
 $P_{DIAST} = 80 \text{ mmHg} < P_{ARTERIOSA} < P_{SIST} = 120 \text{ mmHg}$
- Alla fine della vena cava la pressione cade a 0 mm Hg

Distribuzione delle pressioni

- Costanza della portata $\Rightarrow v \approx \text{cost}/A$ (proporzionalità inversa).
- A riposo $v_{AORTA} \approx 33 \text{ cm/sec}$, $v_{CAPILLARI} \approx v_{AORTA}/1000$, $\approx 0.3 \text{ mm/sec}$. Poichè $l_{CAPILLARI} \approx 0.3 - 1 \text{ mm}$, il sangue resta nei capillari per 1-3 sec (Tempo corto per gli scambi)
- Il cuore pompa sangue continuamente e quindi, in media $P_{AORTA} \approx 100 \text{ mmHg}$
- A causa della pulsatilità,
 $P_{DIAST} = 80 \text{ mmHg} < P_{ARTERIOSA} < P_{SIST} = 120 \text{ mmHg}$
- Alla fine della vena cava la pressione cade a 0 mm Hg
- $P_{VENULE} \approx 10 - 17 \text{ mmHg} \leq P_{CAPILLARI} \leq P_{ARTERIOLE} \approx 35 \text{ mmHg}$

Distribuzione delle pressioni

- Costanza della portata $\Rightarrow v \approx \text{cost}/A$ (proporzionalità inversa).
- A riposo $v_{AORTA} \approx 33 \text{ cm/sec}$, $v_{CAPILLARI} \approx v_{AORTA}/1000$, $\approx 0.3 \text{ mm/sec}$. Poichè $l_{CAPILLARI} \approx 0.3 - 1 \text{ mm}$, il sangue resta nei capillari per 1-3 sec (Tempo corto per gli scambi)
- Il cuore pompa sangue continuamente e quindi, in media $P_{AORTA} \approx 100 \text{ mmHg}$
- A causa della pulsatilità,
 $P_{DIAST} = 80 \text{ mmHg} < P_{ARTERIOSA} < P_{SIST} = 120 \text{ mmHg}$
- Alla fine della vena cava la pressione cade a 0 mm Hg
- $P_{VENULE} \approx 10 - 17 \text{ mmHg} \leq P_{CAPILLARI} \leq P_{ARTERIOLE} \approx 35 \text{ mmHg}$

Distribuzione delle pressioni

- P_{VENULE} è abbastanza bassa da fare uscire il plasma dai capillari e scambiare così anche nutrienti.

Distribuzione delle pressioni

- P_{VENULE} è abbastanza bassa da fare uscire il plasma dai capillari e scambiare così anche nutrienti.
- La pressione polmonare arteriosa è pulsatile, come nell'aorta, ma minore: la pressione sistolica dell'arteria polmonare è di 25 mm Hg, mentre quella diastolica è di 8 mm Hg.

Distribuzione delle pressioni

- P_{VENULE} è abbastanza bassa da fare uscire il plasma dai capillari e scambiare così anche nutrienti.
- La pressione polmonare arteriosa è pulsatile, come nell'aorta, ma minore: la pressione sistolica dell'arteria polmonare è di 25 mm Hg, mentre quella diastolica è di 8 mm Hg.
- La pressione polmonare capillare è, in media, di soli 7 mm Hg, sufficienti al compito dei polmoni, cioè di esporre il sangue all'ossigeno.

Distribuzione delle pressioni

- P_{VENULE} è abbastanza bassa da fare uscire il plasma dai capillari e scambiare così anche nutrienti.
- La pressione polmonare arteriosa è pulsatile, come nell'aorta, ma minore: la pressione sistolica dell'arteria polmonare è di 25 mm Hg, mentre quella diastolica è di 8 mm Hg.
- La pressione polmonare capillare è, in media, di soli 7 mm Hg, sufficienti al compito dei polmoni, cioè di esporre il sangue all'ossigeno.

I fluidi biologici

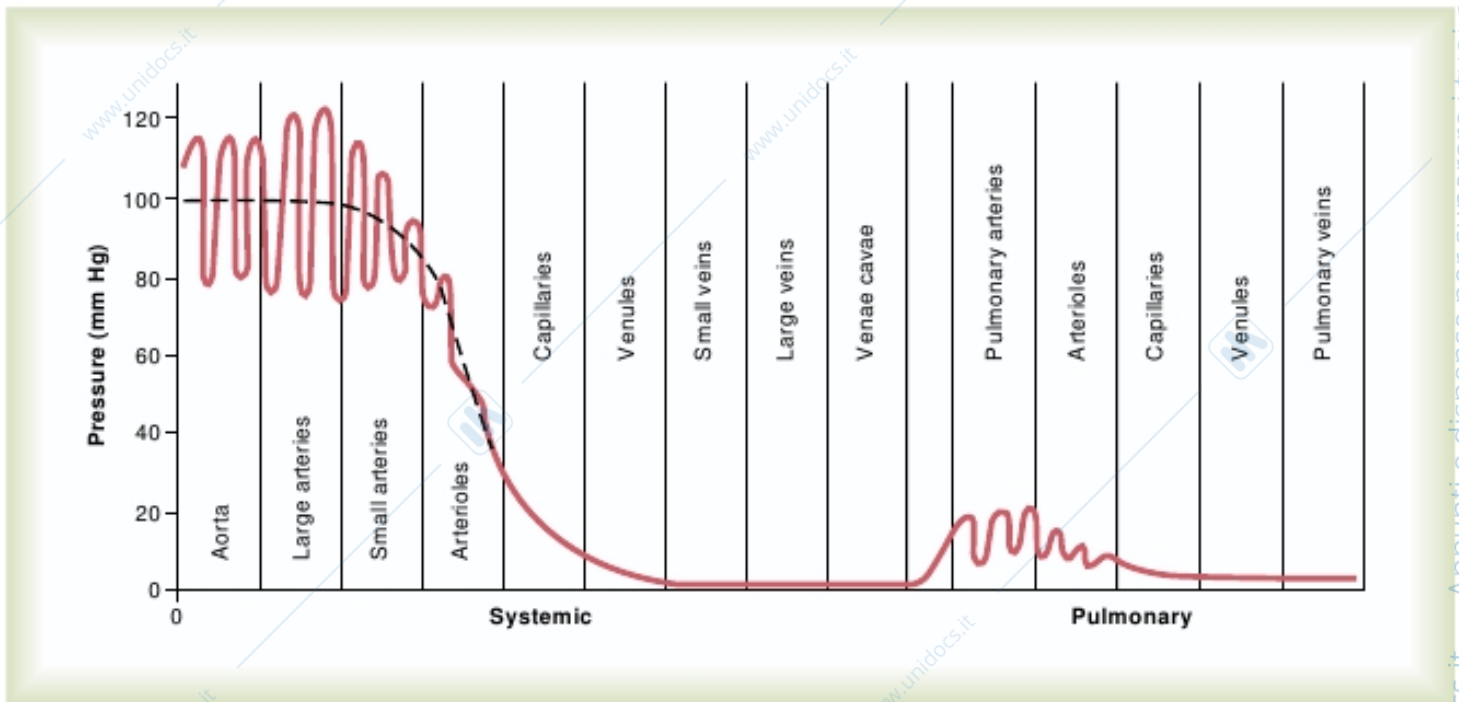


Figure 14-2

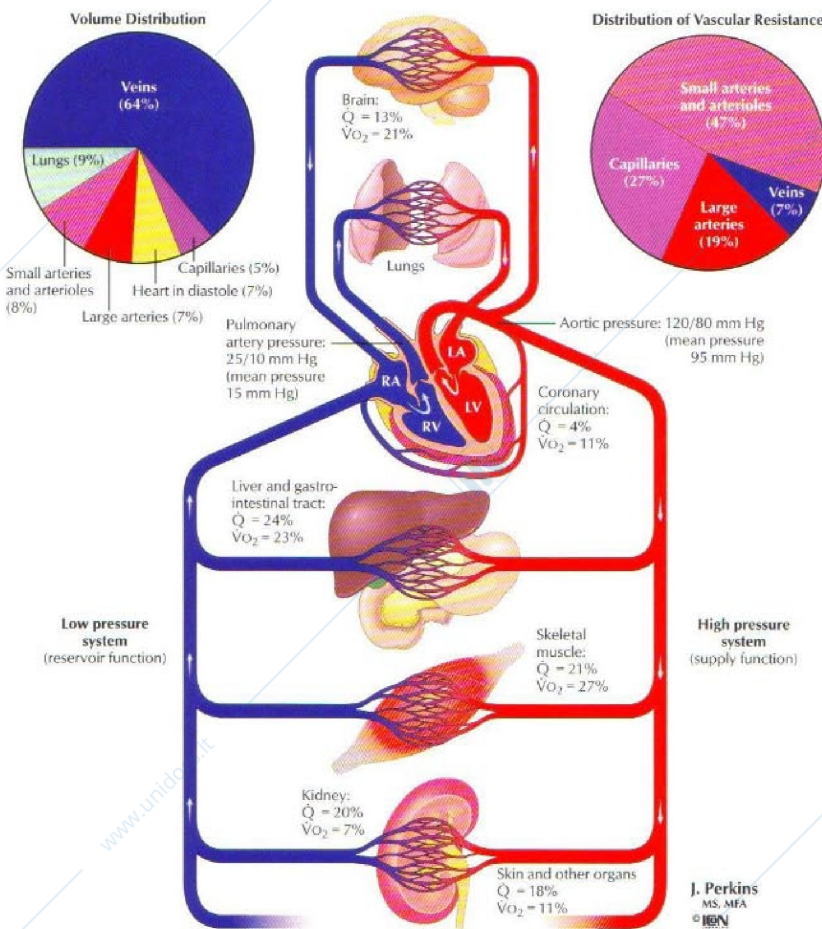
Normal blood pressures in the different portions of the circulatory system when a person is lying in the horizontal position.

- 1 Il tasso di flusso sanguigno nei tessuti dipende dal loro stato: se sono attivi richiamano un flusso 20-30 volte maggiore rispetto allo stato basale. Il cuore può aumentare il suo output solo di 7 volte, per cui si controlla la dilatazione microvasale locale sia tramite sensing dei nutrienti sia tramite controllo nervoso.

- 1 Il tasso di flusso sanguigno nei tessuti dipende dal loro stato: se sono attivi richiamano un flusso 20-30 volte maggiore rispetto allo stato basale. Il cuore può aumentare il suo output solo di 7 volte, per cui si controlla la dilatazione microvasale locale sia tramite sensing dei nutrienti sia tramite controllo nervoso.
- 2 L'output cardiaco è controllato dalla somma di tutti i flussi locali tramite un feed-back venoso, ma serve anche un ulteriore controllo di origine nervosa.

- 1 Il tasso di flusso sanguigno nei tessuti dipende dal loro stato: se sono attivi richiamano un flusso 20-30 volte maggiore rispetto allo stato basale. Il cuore può aumentare il suo output solo di 7 volte, per cui si controlla la dilatazione microvasale locale sia tramite sensing dei nutrienti sia tramite controllo nervoso.
- 2 L'output cardiaco è controllato dalla somma di tutti i flussi locali tramite un feed-back venoso, ma serve anche un ulteriore controllo di origine nervosa.
- 3 In generale, il controllo della pressione arteriosa è indipendente dal flusso locale e dall'output cardiaco. Se la pressione scende sotto i 100 mm Hg il SN interviene con segnali che:

- ① Il tasso di flusso sanguigno nei tessuti dipende dal loro stato: se sono attivi richiamano un flusso 20-30 volte maggiore rispetto allo stato basale. Il cuore può aumentare il suo output solo di 7 volte, per cui si controlla la dilatazione microvasale locale sia tramite sensing dei nutrienti sia tramite controllo nervoso.
- ② L'output cardiaco è controllato dalla somma di tutti i flussi locali tramite un feed-back venoso, ma serve anche un ulteriore controllo di origine nervosa.
- ③ In generale, il controllo della pressione arteriosa è indipendente dal flusso locale e dall'output cardiaco. Se la pressione scende sotto i 100 mm Hg il SN interviene con segnali che:
 - ① Aumentano la forza del pompaggio cardiaco
 - ② Causano la contrazione delle grosse vene, causando un maggiore afflusso sanguigno al cuore
 - ③ Generano costrizione generalizzata delle arteriole in maniera tale da avere più sangue nelle arterie e quindi una maggiore pressione arteriosa. Inoltre, su una scala temporale più lunga (ore e giorni) il rene secerne ormoni che controllano la pressione e il volume sanguigno.



Il cuore pompa il sangue nella C.P. e nella C.S. per lo scambio di CO_2 e O_2 .
 A riposo l'output cardiaco è di 5 l/min nella C.P e C.S.
 Q è la portata e VO_2 l'utilizzo % di ossigeno/min a riposo. I vari distretti sono mostrati in parallelo. Sia Q sia VO_2 sono aggiustabili. Notare che la maggior parte del sangue risiede nelle vene.

Nel momento in cui consideriamo il moto di un punto materiale di massa m in un fluido reale, occorre tenere in considerazione che su di esso non agisce solo la forza peso, ma anche la forze di Archimede e la resistenza viscosa.

La forza di Stokes

Se un oggetto si muove all'interno di un fluido reale con velocità v su di esso agirà una forza opposta al moto che dipende sia dalla velocità che dalla forma (aereodinamica) dell'oggetto.

$$F_{Stokes} = -\beta v$$

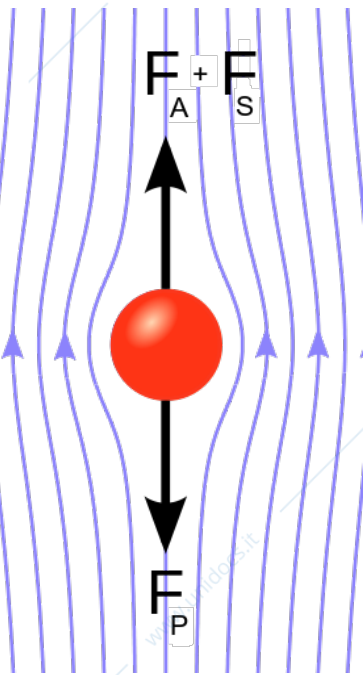
Se consideriamo oggetti sferici:

$$F_{Stokes} = -6\pi\eta r v$$

dove η è la viscosità del mezzo, r è il raggio della sfera e v è la velocità dell'oggetto (il coefficiente 6π è legato alla forma della particella).

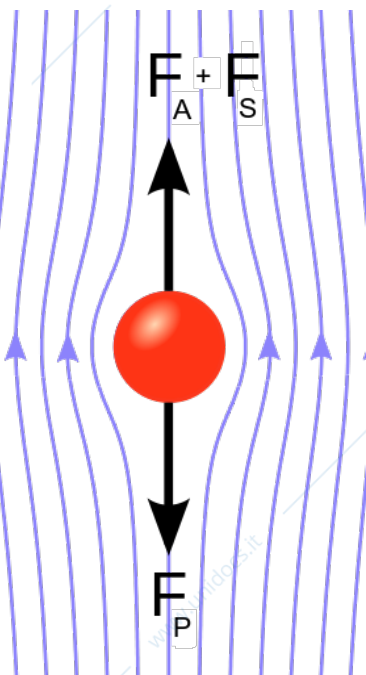
La velocità di sedimentazione

La velocità di sedimentazione



La velocità di sedimentazione

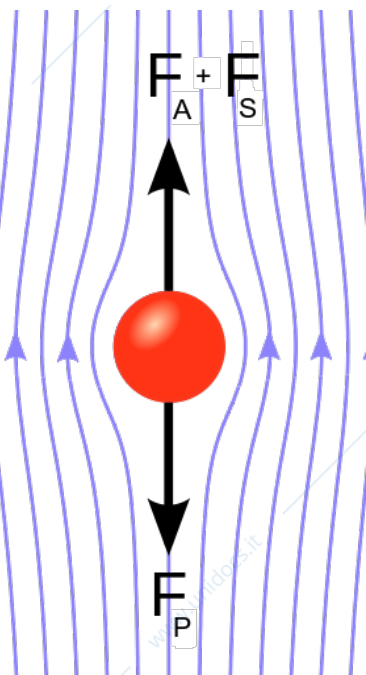
Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:



La velocità di sedimentazione

Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

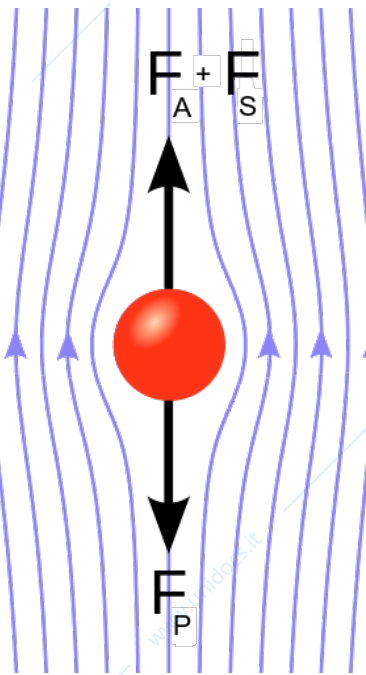
- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V \vec{g}$



La velocità di sedimentazione

Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V \vec{g}$
- La spinta di Archimede $\vec{F}_A = m\vec{g} = \rho_L V \vec{g}$
- La forza viscosa di Stokes $\vec{F}_S = -6\pi\eta r v$

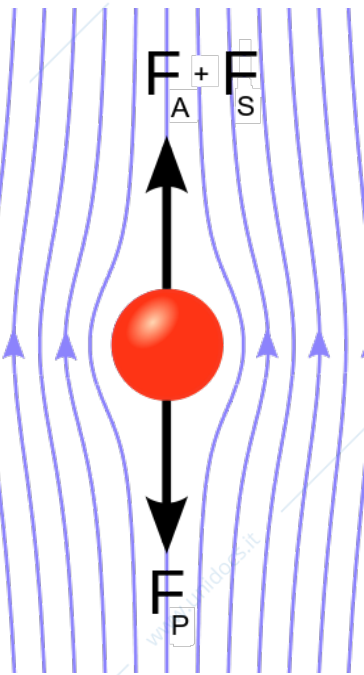


La velocità di sedimentazione

Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V \vec{g}$
- La spinta di Archimede $\vec{F}_A = m\vec{g} = \rho_L V \vec{g}$
- La forza viscosa di Stokes $\vec{F}_S = -6\pi\eta r v$
- All'equilibrio:

$$F_P - F_A - F_S = 0 \Rightarrow F_S = F_P - F_A$$

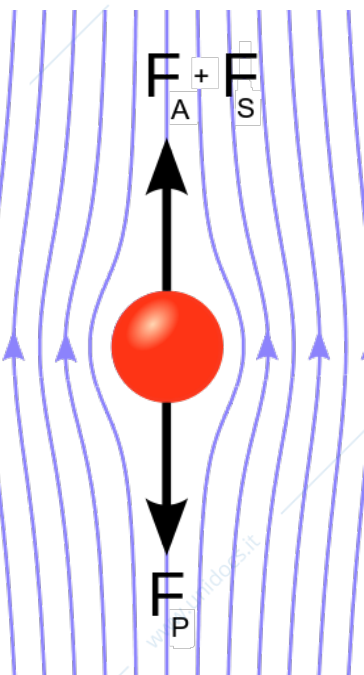


La velocità di sedimentazione

Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V \vec{g}$
- La spinta di Archimede $\vec{F}_A = m\vec{g} = \rho_L V \vec{g}$
- La forza viscosa di Stokes $\vec{F}_S = -6\pi\eta r v$
- All'equilibrio:

$$F_P - F_A - F_S = 0 \Rightarrow F_S = F_P - F_A$$
- $$v_{Sed} = \frac{F_P - F_A}{\beta} \Rightarrow v_{Sed} = \frac{F_P - F_A}{6\pi\eta r}$$

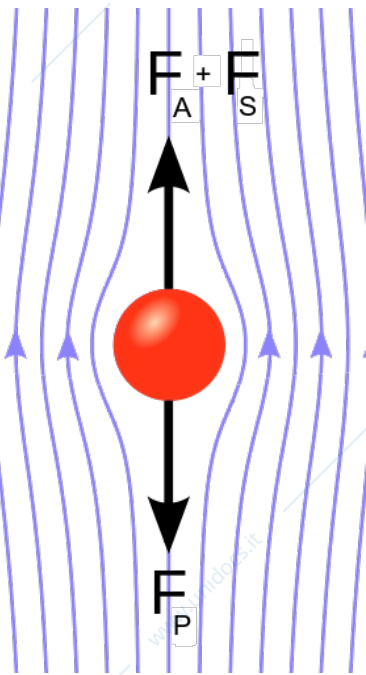


La velocità di sedimentazione

Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V \vec{g}$
- La spinta di Archimede $\vec{F}_A = m\vec{g} = \rho_L V \vec{g}$
- La forza viscosa di Stokes $\vec{F}_S = -6\pi\eta r v$
- All'equilibrio:

$$F_P - F_A - F_S = 0 \Rightarrow F_S = F_P - F_A$$
- $$v_{Sed} = \frac{F_P - F_A}{\beta} \Rightarrow v_{Sed} = \frac{F_P - F_A}{6\pi\eta r}$$
- $$V_{Sfera} = \frac{4\pi r^3}{3} \Rightarrow m = \rho \cdot V_{Sfera}$$



La velocità di sedimentazione

Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

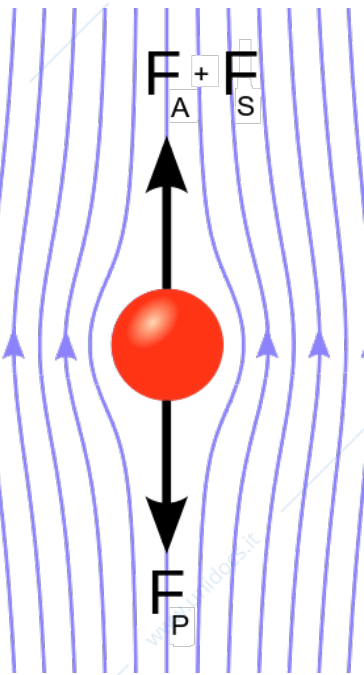
- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V \vec{g}$
- La spinta di Archimede $\vec{F}_A = m\vec{g} = \rho_L V \vec{g}$
- La forza viscosa di Stokes $\vec{F}_S = -6\pi\eta r v$
- All'equilibrio:

$$F_P - F_A - F_S = 0 \Rightarrow F_S = F_P - F_A$$

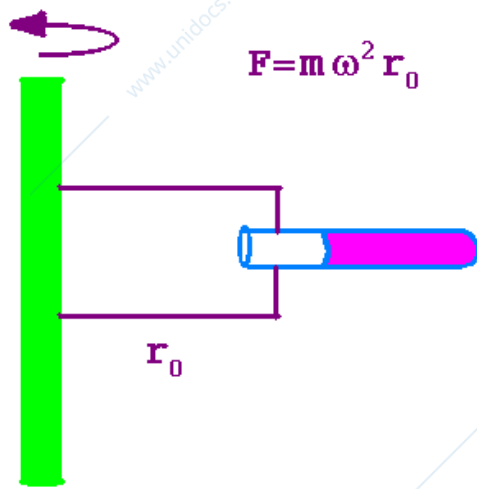
$$\bullet \quad v_{Sed} = \frac{F_P - F_A}{\beta} \Rightarrow v_{Sed} = \frac{F_P - F_A}{6\pi\eta r}$$

$$\bullet \quad V_{Sfera} = \frac{4\pi r^3}{3} \Rightarrow m = \rho \cdot V_{Sfera}$$

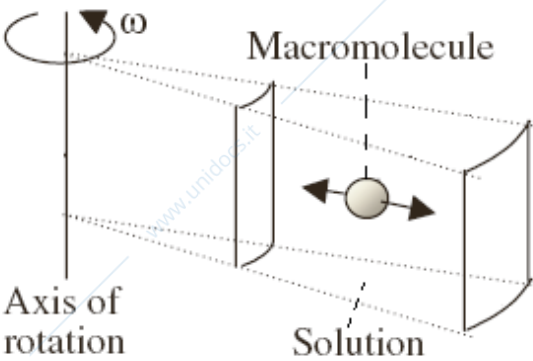
$$v_{Sed} = \frac{(\rho_S - \rho_F) V \vec{g}}{6\pi\eta r} = \frac{2(\rho_S - \rho_F)}{9\eta} g r^2$$



La centrifuga: $v_S = \frac{2r^2 (\rho_S - \rho_F)}{9\eta} \omega^2 R$



$$F = m \omega^2 r_0$$

 r_0


Macromolecule

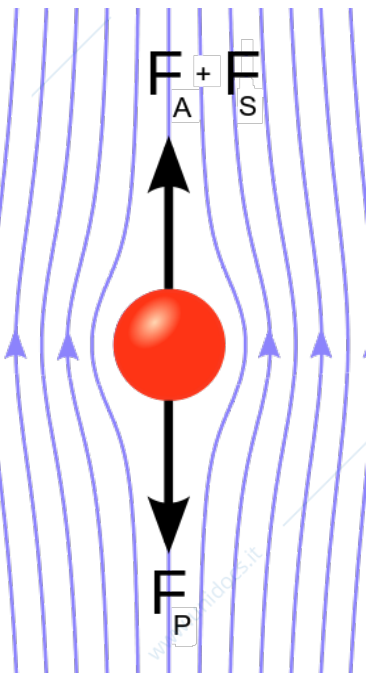
Solution

Per aumentare la velocità di sedimentazione di particelle piccole e/o per separarle dalle soluzioni, si usa la centrifuga, che genera un'accelerazione $\omega^2 R$ quindi la velocità di sedimentazione diventa (sostituendo a g $\omega^2 R$):

$$v_S = \frac{2r^2 (\rho_S - \rho_F)}{9\eta} \omega^2 R$$

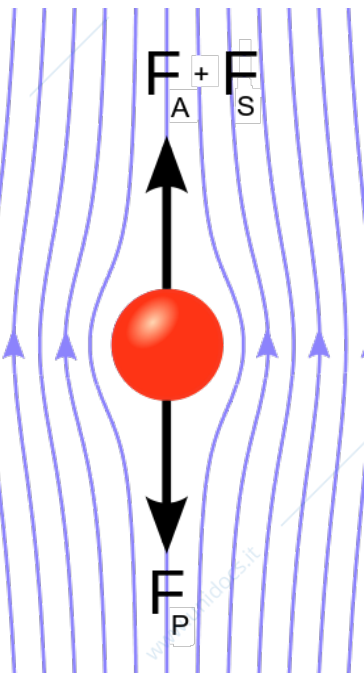
La velocità di sedimentazione: $v_S = \frac{2(\rho_S - \rho_F)}{9} \frac{g r^2}{\eta}$

La velocità di sedimentazione: $v_S = \frac{2(\rho_S - \rho_F)}{9\eta} g r^2$



La velocità di sedimentazione: $v_S = \frac{2(\rho_S - \rho_F)}{9\eta} g r^2$

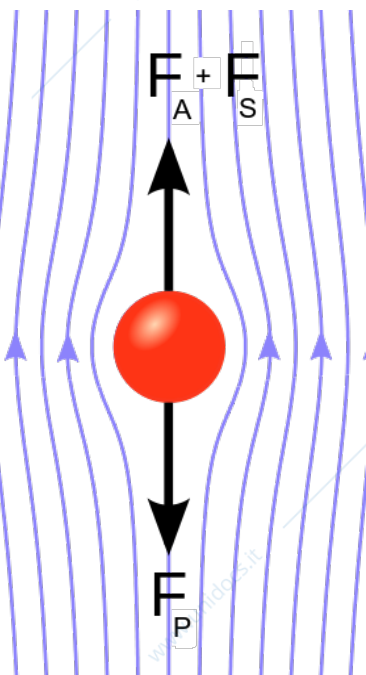
Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:



La velocità di sedimentazione: $v_S = \frac{2(\rho_S - \rho_F)}{9\eta} g r^2$

Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

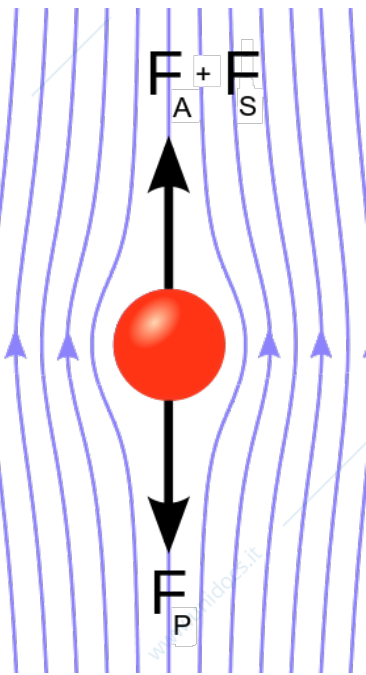
- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V\vec{g}$



La velocità di sedimentazione: $v_S = \frac{2}{9} \frac{(\rho_S - \rho_F)}{\eta} g r^2$

Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

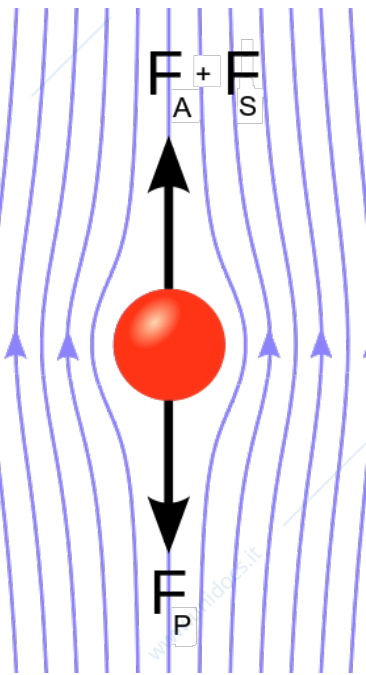
- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V \vec{g}$
- La spinta di Archimede $\vec{F}_A = m\vec{g} = \rho_L V \vec{g}$
(V Volume sfera $V = 4/3\pi r^3$)



La velocità di sedimentazione: $v_S = \frac{2(\rho_S - \rho_F)}{9} \frac{g r^2}{\eta}$

Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

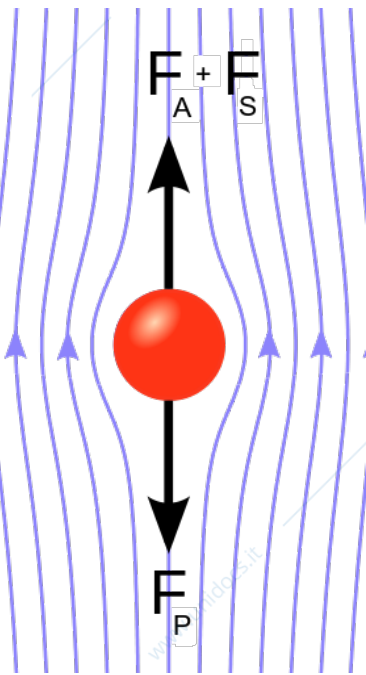
- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V \vec{g}$
- La spinta di Archimede $\vec{F}_A = m\vec{g} = \rho_L V \vec{g}$
(V Volume sfera $V = 4/3\pi r^3$)
- La forza viscosa di Stokes $\vec{F}_S = -6\pi\eta r v$



La velocità di sedimentazione: $v_S = \frac{2(\rho_S - \rho_F)}{9} \frac{g r^2}{\eta}$

Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V \vec{g}$
- La spinta di Archimede $\vec{F}_A = m\vec{g} = \rho_L V \vec{g}$
(V Volume sfera $V = 4/3\pi r^3$)
- La forza viscosa di Stokes $\vec{F}_S = -6\pi\eta r v$
- All'equilibrio: $F_A + F_P = F_S$

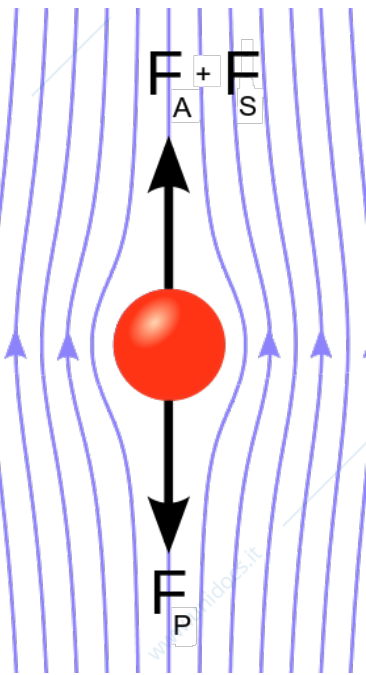


La velocità di sedimentazione: $v_S = \frac{2(\rho_S - \rho_F)}{9} \frac{g r^2}{\eta}$

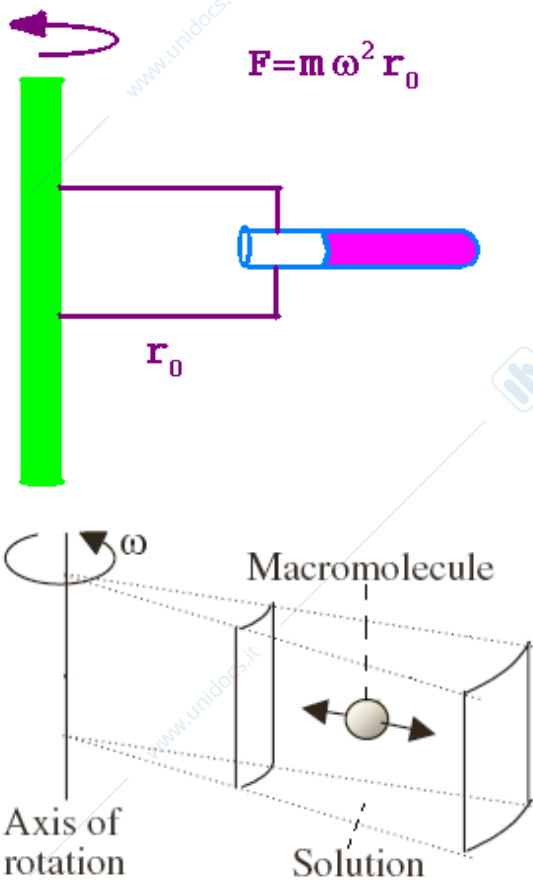
Una sfera di massa m in moto di caduta in un fluido viscoso di viscosità η sperimenta tre forze:

- La forza peso $\vec{F}_P = m\vec{g} = \rho_S V \vec{g}$
- La spinta di Archimede $\vec{F}_A = m\vec{g} = \rho_L V \vec{g}$
(V Volume sfera $V = 4/3\pi r^3$)
- La forza viscosa di Stokes $\vec{F}_S = -6\pi\eta r v$
- All'equilibrio: $F_A + F_P = F_S$
- $6\pi\eta r v = \rho_S V \vec{g} - \rho_F V \vec{g} \Rightarrow$

$$v = \frac{(\rho_S - \rho_F) V \vec{g}}{6\pi\eta r} = \frac{2(\rho_S - \rho_F)}{9} \frac{g r^2}{\eta}$$



La centrifuga: $v_S = \frac{2r^2 (\rho_S - \rho_F)}{9 \eta} \omega^2 R$



Per aumentare la velocità di sedimentazione di particelle piccole e/o per separarle dalle soluzioni, si usa la centrifuga, che genera un'accelerazione $\omega^2 R$ quindi la velocità di sedimentazione diventa (sostituendo a g $\omega^2 R$):

$$v_S = \frac{2r^2 (\rho_S - \rho_F)}{9 \eta} \omega^2 R$$