

# Reologia

Studia **l'analisi delle deformazioni** di strutture solide o fluide soggette a scorrimento.

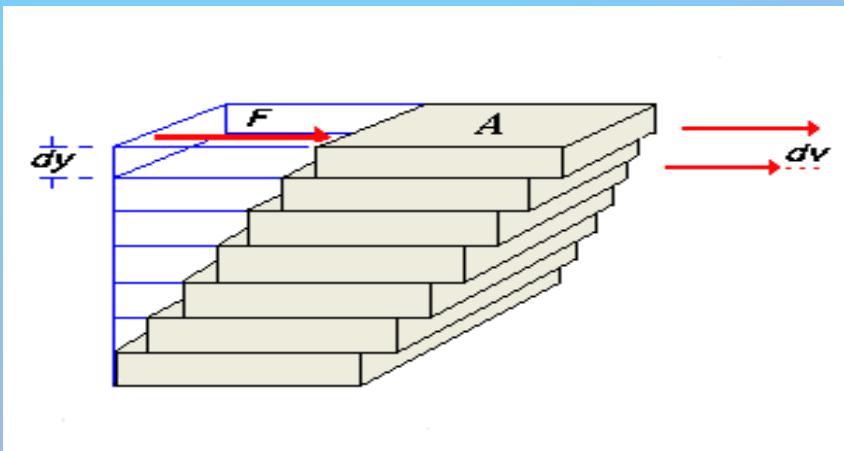
[ Dal greco: *reo= scorro* ]

La reologia interessa molti **processi industriali**, dal farmaceutico al cosmetico, dall'alimentare al plastico, dalle gomme alle ceramiche.

I materiali non sono interamente fluidi, ma mostrano un comportamento non lineare che, può portare a comportamenti inaspettati durante i processi di lavorazione e/o il loro utilizzo.

## “Legge di Stokes e determinazione della viscosità

Consideriamo un fluido delimitato da due superfici piane e parallele di area  $A$ , poste a distanza  $dy$  l'una dall'altra.



*Comportamento di un fluido laminare*

Applicando una **forza costante,  $F$** , tangente alla superficie superiore, questa si muoverà con una velocità costante,  **$v$** , trascinando con sé la superficie ad essa inferiore, che a sua volta trascinerà quella sottostante, e così via.

In particolare, ognuna di queste superfici scorrerà con velocità sempre minore rispetto a quella sovrastante, fino ad arrivare all'ultimo strato che rimarrà fermo.

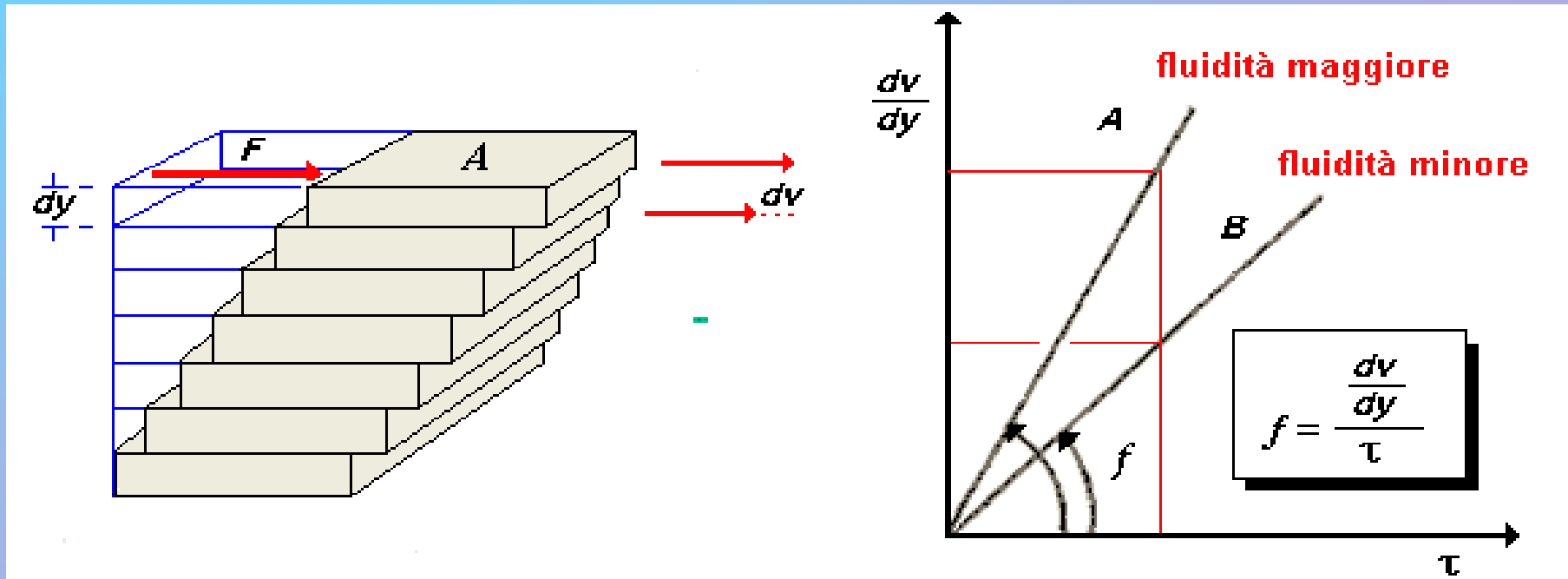
La differenza di velocità tra due superfici, è espressa dalla relazione:

$$dv = f \frac{F}{A} dy = f\tau dy$$

- direttamente proporzionale alla fluidità,  $f$ , del mezzo;
- direttamente proporzionale alla forza esterna applicata,  $F$  (in quanto responsabile del moto d'insieme del fluido);
- direttamente proporzionale alla distanza  $dy$  fra due superfici (maggiore è la distanza dalla base, maggiore è la velocità di scorrimento);
- inversamente proporzionale all'area,  $A$ , di una qualsiasi superficie (in quanto  
con esse aumentano, con azione frenante, le interazioni fra due superfici affacciate

$$\frac{dv}{dy} = f \frac{F}{A} = f\tau$$

Dove  $dv/dy$  rappresenta il gradiente di velocità o velocità di taglio



Il grafico in cui è riportata la velocità di taglio,  $dv/dy$ , in funzione della forza di taglio applicata,  $\tau$ , detto "reogramma" è costituito da una retta passante per l'origine:

i fluidi che scorrono secondo questo andamento, sono detti fluidi **newtoniani**.<sup>4</sup>

Il coefficiente angolare della retta è  $f$ , e misura la fluidità del mezzo o la facilità di scorrimento.

Dei due fluidi, A e B, è evidente che A è più fluido di B: a parità di forza applicata, A scorre più facilmente.

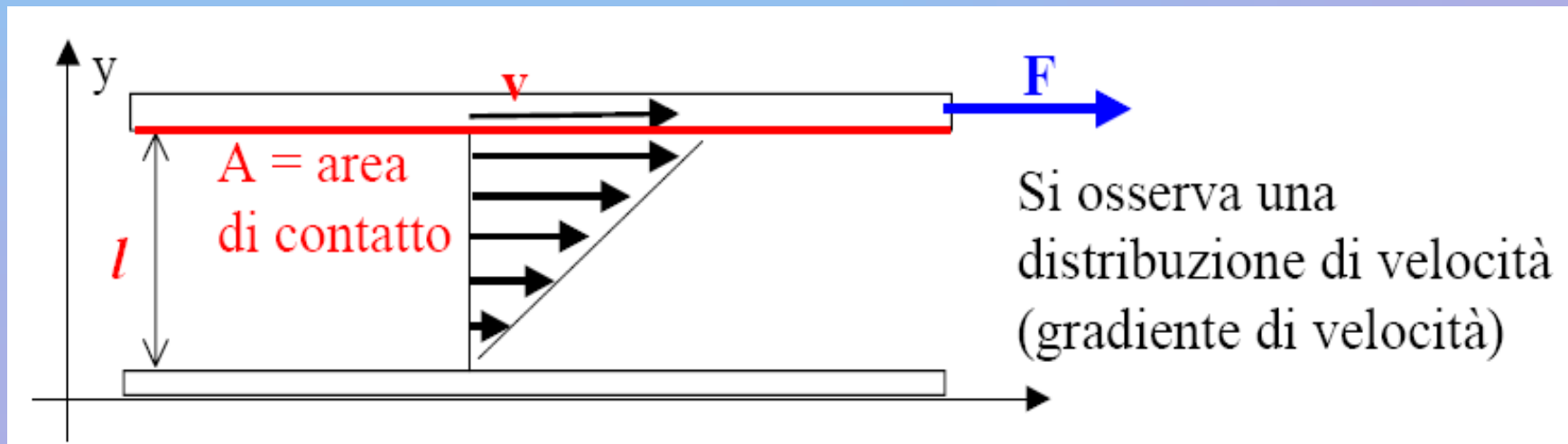
L'inverso del coefficiente di fluidità esprime una misura del

**coefficiente di viscosità** del mezzo:  $\eta = 1/f$ .

Così, la retta A rappresenta una sostanza a fluidità maggiore rispetto alla retta B ma di viscosità minore rispetto alla stessa.

Per concludere, i fluidi reali presentano una resistenza al moto di scorrimento detta **viscosità**, dovuta ad una forma d'attrito interno fra strati adiacenti di fluido.

Un fluido reale è pertanto caratterizzato da un **coefficiente di viscosità ( $\eta$ )**.



*Valori tipici della viscosita' in unita' Pa·s di alcuni liquidi a 20° C.*

<b>Sostanza</b>	<b>Coeff. Viscosita' (mPa s)</b>
Sangue intero	3.015
Plasma	1.81
Siero	1.88
Liquido cefalorachidiano	1.02
Bile	1.27
Urina	1.07
Acqua	1.00
Mercurio	1.50
Glicerina	8.30

# Variazioni con la temperatura

La viscosità di un fluido varia in funzione della temperatura, secondo la seguente relazione:

$$\eta = Ae^{E/RT}$$

dove:  $A$  = costante legata al P.M. (peso molecolare) ed al volume molare del fluido;

$E$  = energia di attivazione necessaria per iniziare il flusso tra molecole, pari a circa 1/3 del calore latente di evaporazione;

$RT$  = costante dei gas moltiplicata per la temperatura assoluta.

Questa relazione rappresenta solo una approssimazione del reale comportamento di un fluido viscoso, essa sarebbe infatti valida per fluidi ideali con particelle perfettamente sferiche e perfettamente isotrope dal punto di vista delle forze di legame.



# VISCOSIMETRO A SFERA CADENTE

applicazione della legge di Stokes:

determinare la viscosità di un liquido

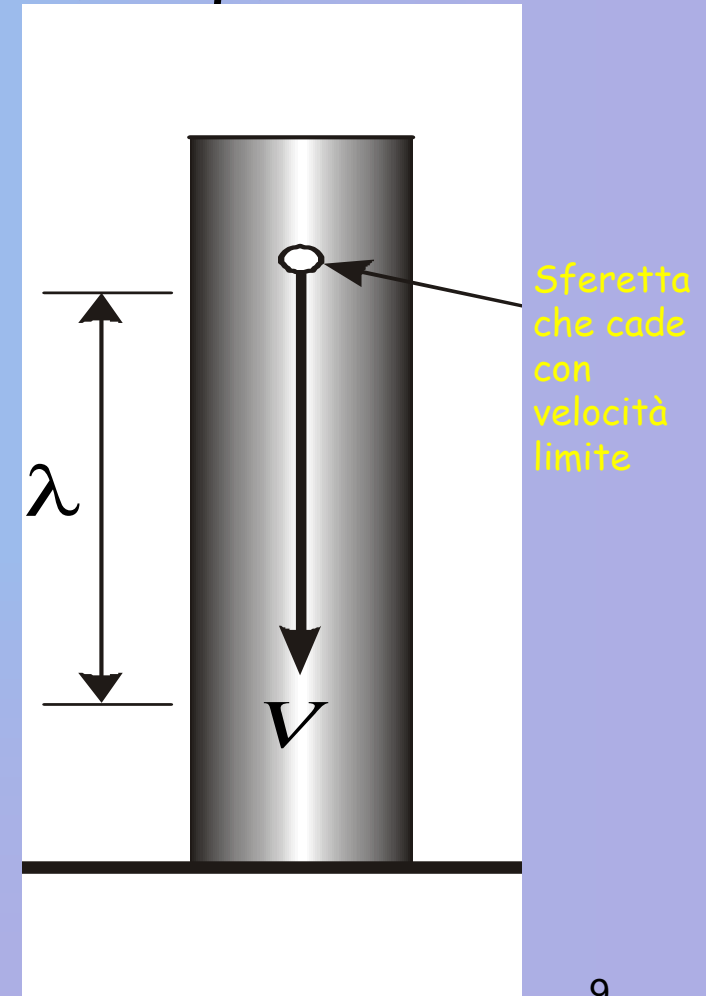
Una sferetta (raggio  $r$ , massa  $m$  e densità  $\rho_s$ ) cade da una distanza  $\lambda$  con velocità limite  $V$  in un cilindro riempito con un fluido di densità  $\rho$ , e viscosità  $\eta$ .

Le forze in gioco sono:

La forza di Stokes:  $\vec{F} = 6 \pi \eta r \vec{V}$

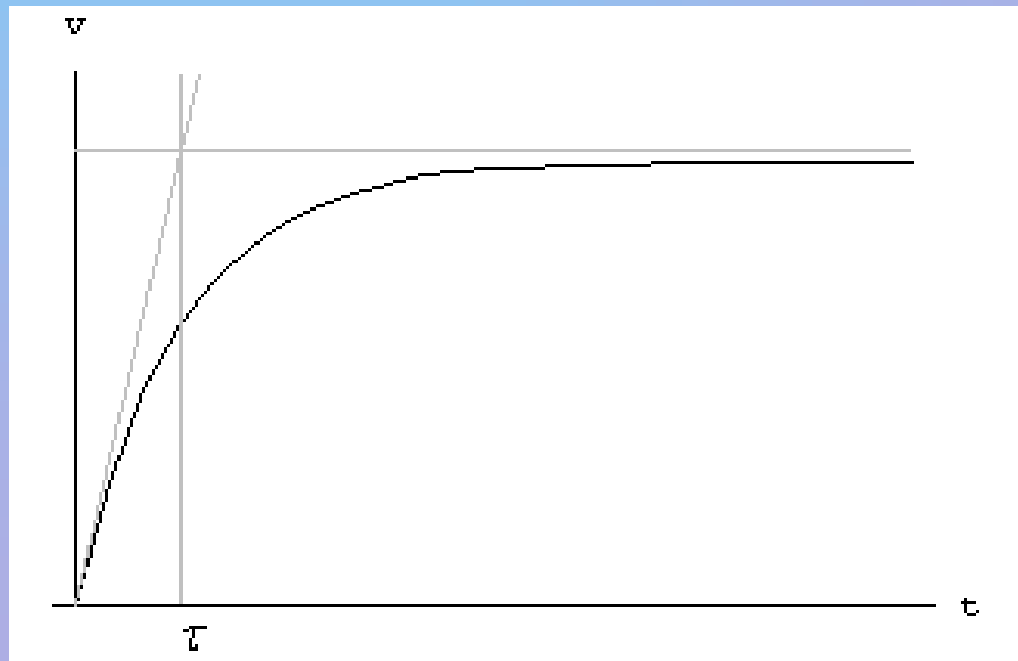
La forza peso:  $m \vec{g} = \rho_s V \vec{g} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_s \vec{g}$

La spinta di Archimede:  $\rho V \vec{g} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho \vec{g}$



# Velocità limite

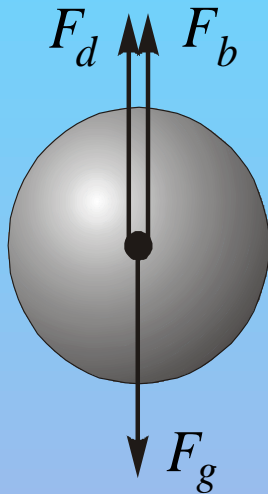
La sferetta percorre il primo tratto in caduta libera, fino al raggiungimento dell'equilibrio delle forze che comporta un moto uniforme con velocità limite  $V$ , che ci permette di calcolare  $\eta$ .



# Le forze

Il bilanciamento delle forze si ha quando:

$$F_g - F_b = F_d$$



con  $F_g$  forza peso,  $F_b$  spinta di Archimede e  $F_d$  forza di Stokes.

In questo caso la sferetta si muoverà con velocità uniforme (velocità limite).

Si avrà: 
$$6\pi\eta r \vec{V} = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_s - \rho) \vec{g}$$

Quindi: 
$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2 (\rho_s - \rho) g}{V}$$

Noto tutto il resto, per la velocità, poiché è uniforme, noto lo spazio percorso, basta misurare il tempo impiegato a percorrerlo.

# Strumentazione e Materiale

- Cronometro digitale
- Sferette di diverso diametro
- Calibro Palmer
- Metro
- Beker di vetro
- Fluido

# Un esempio di esperienza

Viene eseguito l'esperimento con due sferette ( $m$  e  $g$ ) in un cilindro di lunghezza  $\lambda$  riempito di balsamo.

Conosciamo:

$$\lambda = 22 \text{ cm}$$

$$r_g = 2,04 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$\rho_g = 2,89 * 10^3 \text{ kg / m}^3$$

$$\rho_{\text{fluido}} = 1,24 * 10^3 \text{ kg / m}^3$$

Abbiamo ricavato sperimentalmente il tempo  $t$  di percorrenza per trovare la velocità limite  $V$ .

$$t_g = 104 \text{ s}$$



$$V_g = 2,12 * 10^{-3} \text{ m / s}$$

Ricordando:

$$\eta = \frac{2 r_g^2 (\rho_g - \rho_{fluido}) g}{9 V_g}$$

E sostituendo i risultati ottenuti...

$$\eta = \frac{2 (2,04 * 10^{-3} m)^2 (2,89 * 10^3 - 1,24 * 10^3) kg * m^{-3} (9,81 m * s^{-1})}{9 2,12 * 10^{-3} m * s^{-1}}$$

Da cui:

$$\eta = 7,06 \frac{kg}{m * s}$$

# Accorgimenti nello svolgimento

- Evitare che nel fluido si creino moti vorticosi (si considera quindi un regime laminare)
- Utilizzare sferette di raggio opportuno
- Fare cadere le sferette a pelo di liquido
- Effettuare le misure di tempo a partire dal traguardo superiore per essere sicuri che la sferetta si muova con velocità limite

## VISCOSIMETRO ANALOGICO BROOKFIELD serie T



Strumento a regolazione elettronica delle velocità, 8 - 10 velocità completo di 6 giranti



## Viscosimetro Rotazionale BROOKFIELD mod. DVI+ PRIME

Strumento a **18** velocità completo di giranti, manuale istruzioni, stativo, valigetta di trasporto e certificato di calibrazione a rintracciabilità NIST.



	MODELLO	NUMERO GIRANTI	N.CAMPI VISCOSITÀ (N.gir.x N.velocità')	RANGE DI MISURA cP ( mPa.s )
<b>basse viscosità</b>	LVDV-IP	4	72	15 - 2 MILIONI
<b>medie viscosità</b>	RVDV-IP	6	126	100 - 13 MILIONI
<b>alte viscosità</b>	HADV-IP	6	126	200 - 26 MILIONI
<b>altissime viscosità</b>	HBDV-IP	6	126	800 - 104 MILIONI

# Caratteristiche

- Con questo Viscosimetro è possibile rilevare automaticamente:
- - Viscosità in cPs o mPa.s;
- - Sforzo di taglio in D/cm<sup>2</sup> o N/m<sup>2</sup> (\*);
- - Gradiente di velocità in 1/s (\*)  
(\* ) Il gradiente di velocità e lo sforzo di taglio sono determinabili solamente con accessori opzionali aventi geometrie calcolate a cilindri coassiali quali, UL ADAPTER, SSA

# Modificatori reologici

Per l'ottenimento di determinate forme chimico- fisiche e per la stabilizzazione delle strutture colloidali **assumono particolare importanza**

i fenomeni di:

- **VISCOSIZZAZIONE**
- **GELIFICAZIONE**
- **SOSPENSIONE**

ottenibili sia con sostanze di natura organica che inorganica  
E' possibile gelificare sistemi acquosi o oleosi, aumentare la consistenza di dispersioni ed emulsioni.

# Modificatori reologici

gruppi chimici MODIFICATORI REOLOGICI:

- POLIMERI NATURALI
- POLIMERI MODIFICATI ( ETERI DI CELLULOSA)
- POLIMERI O COPOLIMERI VINILICI
- POLIMERI CARBOSSIVINILICI
- POLIMERI ACRILICI O ANALOGHI