

Fluidi reali

Fluidi reali

- **Attrito** fra particelle che lo compongono
- Teorema di Bernoulli va **modificato**

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 + \rho g h_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2 + \rho g h_2 + L_{att}$$

 energia persa per attrito

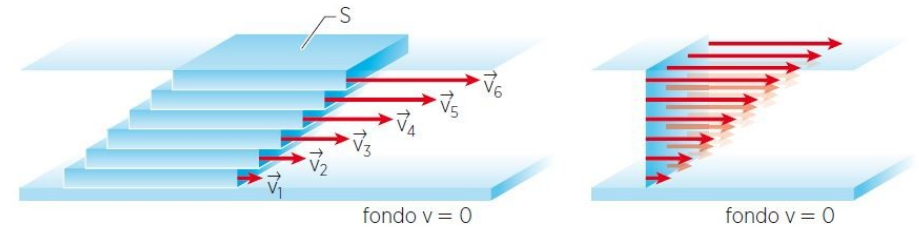
Fluidi reali

- Fluido **ideale**: si mantiene in moto **senza** Δp
 - Δp provoca accelerazione
- Fluido **reale**: occorre **applicare** una Δp per mantenerlo in moto
 - per compensare le forze di attrito
- Potenza delle forze di attrito

$$W_{att} = \frac{dL}{dt} = \frac{F ds}{dt} = S \Delta p v = Q \Delta p$$

Viscosità

- Si immagini di suddividere il fluido in **strati paralleli** di spessore *infinitesimo*



- scorrono gli uni sugli altri nella direzione del moto
- Ogni elemento di superficie S esercita una **forza di attrito** F su quello **adiacente**
 - forza che si oppone al moto
 - la **velocità** di ciascun strato varia **linearmente** con la **quota**
 - » lo strato vicino al fondo è fermo
 - » lo strato più superficiale ha velocità massima

Viscosità

- Si trova che la forza è **proporzionale**
 - alla **superficie**
 - al **gradiente di velocità** (= variazione della velocità con la quota)

$$F = \eta S \frac{dv}{dh}$$

- η : **coefficiente di attrito interno** o **viscosità**
- Nel SI: grandezza **derivata**
 - $[\eta] = [F L / S V] = [ML^{-1}T^{-1}] = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1} = \text{Pl (poiseuille)}$

Viscosità

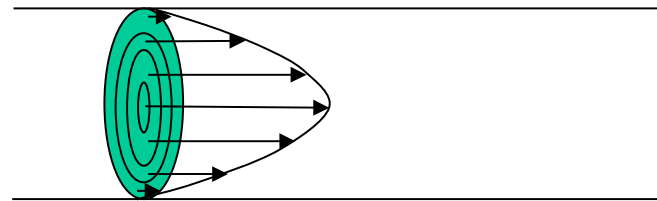
- Nei **liquidi**:
 - *diminuisce* molto con la **temperatura**
 - *aumenta* con la **pressione** (l'acqua fa eccezione)
- Nei **gas**:
 - *aumenta* con la **temperatura**
 - praticamente *indipendente* dalla **pressione**

Fluido viscoso

- Fluido viscoso (reale) in moto laminare stazionario
 - in un condotto cilindrico orizzontale lungo L e di raggio R
- Gli *elementi di fluido* che si muovono con uguale velocità sono costituiti (per simmetria) da *tubi* di piccolo spessore coassiali con il condotto



– profilo di velocità:



Fluido viscoso

- La **portata** del condotto è data da

$$Q = \frac{\pi}{8} \frac{\Delta p}{\eta L} R^4$$

Legge di Hagen-Poiseuille

- dipende dalla quarta potenza di R!

Moto turbolento

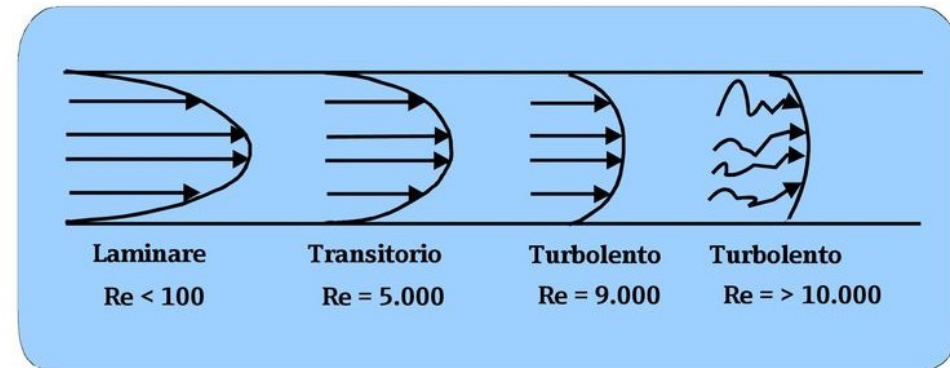
- Fluido reale: a **basse** velocità → moto laminare
 - gli strati **scorrono** *senza intersecarsi*
 - **profilo** della velocità *parabolico* pronunciato
- Fluido reale: ad **alte** velocità → moto turbolento
 - gli strati si **intersecano**
 - si formano **vortici**
 - » in cui si dissipa gran parte dell'energia
 - il profilo della velocità è molto *schacciato*

Moto turbolento

- Descrizione molto complessa
- Il tipo di moto può essere predetto dal **numero di Reynolds**
 - fluido di densità ρ e viscosità η in moto con velocità v in un condotto di diametro d

$$R = \frac{v d \rho}{\eta}$$

- se $R \lesssim 2000 \rightarrow$ laminare
- se $2000 \lesssim R \lesssim 5000 \rightarrow$ transizione
- se $R \gtrsim 5000 \rightarrow$ turbolento



Legge di Stokes

- Data una sfera di piccolo raggio r che cade con velocità v in un mezzo viscoso
- Forza di attrito

$$F = -6 \pi \eta r v$$

Legge di Stokes

- E' importante nei fenomeni di **sedimentazione**
 - es: velocità di sedimentazione degli **eritrociti** nel sangue ($v_{lim} \approx 7-10$ mm/h)