

# **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

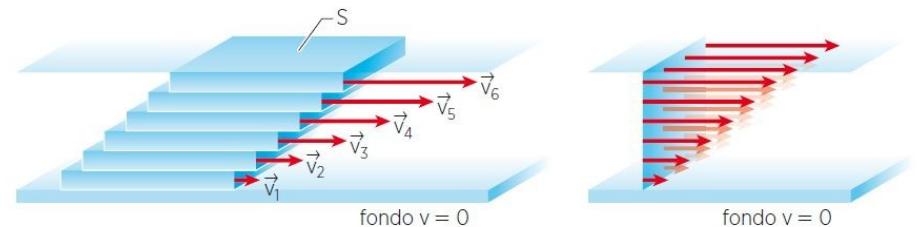
---

- Fluido **ideale**: si mantiene in moto **senza  $\Delta p$** 
  - $\Delta p$  provoca accelerazione
- Fluido **reale**: occorre **applicare** una  $\Delta p$  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)

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

- $\eta$ : **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)

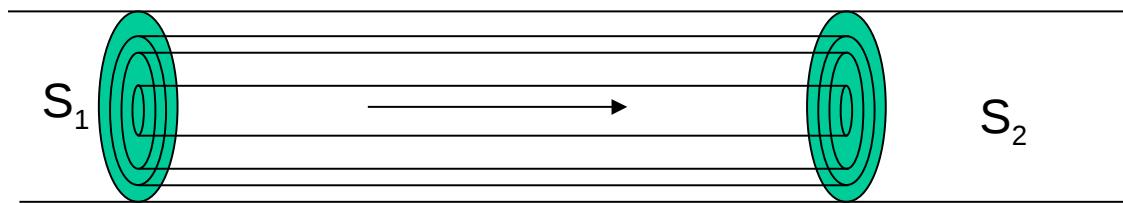
# Viscosità

---

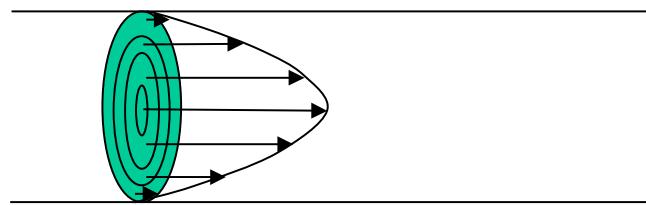
- Nei liquidi:
  - *diminuisce* molto con la **temperatura**
  - *aumenta* con la **pressione** (l'acqua fa eccezione)
- Nei gas:
  - *aumenta* con la **temperatura**
  - praticamente *indipendente* dalla **pressione**

# 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

$$Q = \frac{\pi}{8} \frac{\Delta p}{\eta L} R^4 \quad \text{Legge di Hagen-Poiseuille}$$

- dipende dalla quarta potenza di R!

# Moto turbolento

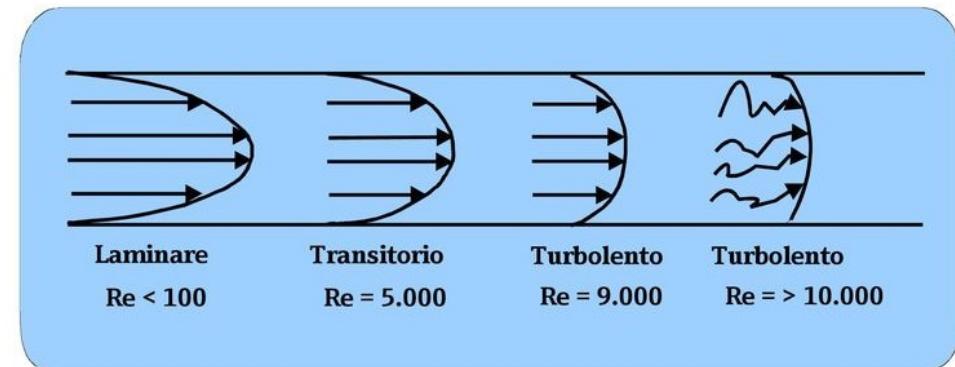
---

- 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 dissipà gran parte dell'energia
  - il profilo della velocità è molto *schiacciato*

# Moto turbolento

- Descrizione molto complessa
- Il tipo di moto può essere predetto dal **numero di Reynolds**
  - fluido di densità  $\rho$  e viscosità  $\eta$  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

$$F = -6\pi\eta rv$$

Legge di Stokes

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