

MECCANICA dei FLUIDI nei SISTEMI BIOLOGICI

parte II^a

- MOTO DI UN FLUIDO IN UN CONDOTTO
- REGIME LAMINARE
- REGIME TURBOLENTO

Lucidi del Prof. D. Scannicchio

MOTO di un **FLUIDO REALE** e **OMOGENEO** in un **CONDOTTO**

MOTO :

STAZIONARIO → portata costante nel tempo

PULSATILE → portata variabile in modo periodico

FLUIDO : non possiede forma propria, ma assume la forma del recipiente che lo contiene

GAS → diffonde nello spazio disponibile

LIQUIDO → volume limitato da una superficie libera

MOTO di un FLUIDO REALE e OMOGENEO in un CONDOTTO

REALE :

sono presenti forze di attrito interno che ne ostacolano il moto

$$\vec{F}_{\text{attrito}} = -f \vec{v}$$

OMOGENEO :

per qualsiasi volume le caratteristiche fisiche sono **costanti**

(sangue : liquido non omogeneo)



MOTO di un FLUIDO REALE e OMOGENEO in un CONDOTTO

CONDOTTO :

RIGIDO → non deformabile, quale che sia la
forza applicata

DEFORMABILE → cambia la propria forma sotto
l'azione di una forza

↓
deformazione elastica →

↓
deformazione non elastica → **arterie e vene**

approssimazione iniziale :

**MOTO STAZIONARIO di un LIQUIDO REALE
e OMOGENEO in un CONDOTTO RIGIDO**

a) effetti delle disomogeneità del sangue
- accumulo assiale
- condotti capillari

b) effetti della distensibilità dei condotti
- forze di coesione nei liquidi
- forze di coesione nei solidi

(CONDOTTI ELASTICI)

c) effetti della pulsatilità del moto

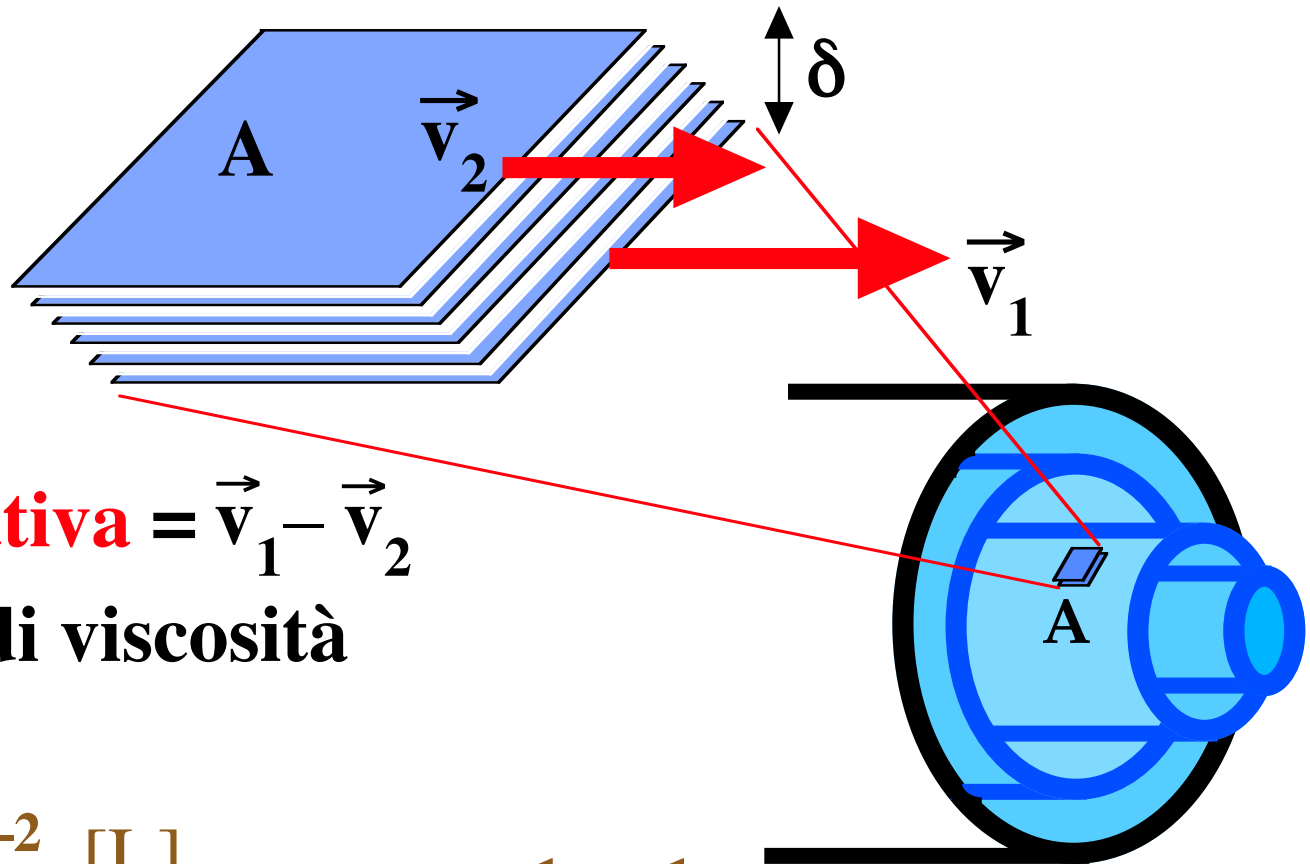
descrizione fenomeno reale (o quasi) :

**MOTO PULSATILE di un LIQUIDO REALE NON
OMOGENEO in un CONDOTTO ELASTICO**

REGIME LAMINARE

FORZE di ATTRITO

$$\vec{F}_A = -\eta A \frac{\vec{v}}{\delta}$$



$$\vec{v} = \text{velocità relativa} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$$

η coefficiente di viscosità

$$[\eta] = \frac{[M][L][t]^{-2} [L]}{[L]^2 [L][t]^{-1}} = [M][L]^{-1}[t]^{-1}$$

• C.G.S. $\text{g s}^{-1} \text{cm}^{-1} = \text{poise}$

REGIME LAMINARE

η funzione della temperatura

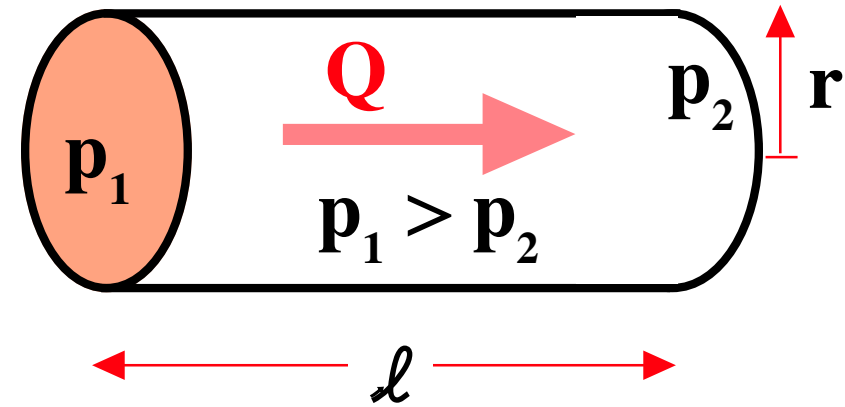
	t (°C)		η (poise)
H₂O	0°C	.....	0.0178
	10°C	.....	0.0130
	20°C	.....	0.0100 ~ plasma
alcool	20°C	.....	0.0125
etere	20°C	.....	0.0023
mercurio ..	20°C	.....	0.0157
glicerina ...	15°C	.....	2.340
aria	15°C	.....	0.00018
sangue			0.0400
(valore ematocrito 40%)			
eritrociti (globuli rossi) occupano il 40% del volume			



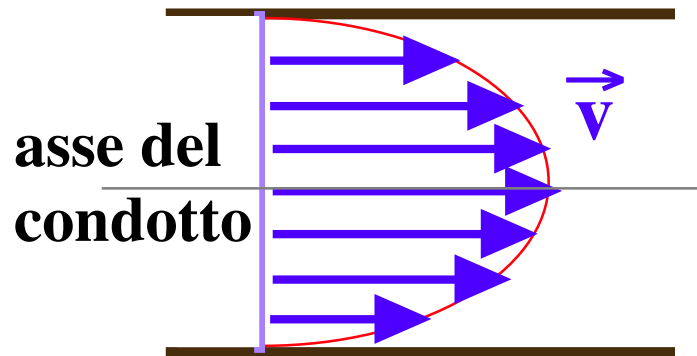
REGIME LAMINARE

① formula di Poiseuille

$$Q = \frac{\pi r^4}{8 \eta \ell} (p_1 - p_2)$$



② profilo della velocità



parabolico

③ moto

silenzioso

RESISTENZA MECCANICA di un CONDOTTO

$$R = \frac{|\Delta p|}{Q}$$

- unità di misura: C.G.S. dyna cm⁻⁵ s

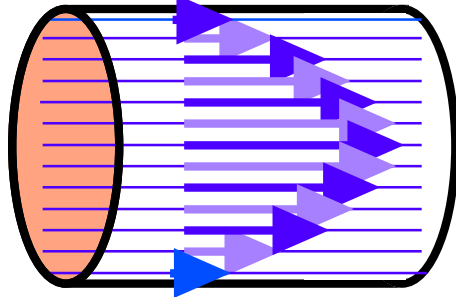
- regime laminare

$$R = \frac{8 \eta \ell}{\pi r^4}$$

(valore caratteristico, dati condotto e liquido)

REGIME TURBOLENTO

lamine e profilo
parabolico di velocità



$$v > v_c$$

velocità critica

transizione di fase
in tutto il volume

lamine spezzate
e vortici



$$v_c = \frac{\Re \eta}{d r}$$

\Re = numero di Reynolds
(numero privo di dimensioni)

$$\frac{[\eta]}{[d][r]} = \frac{[M][t]^{-1}[L]^{-1}}{[M][L]^{-3}[L]} = [L][t]^{-1} = [v]$$

REGIME TURBOLENTO

$$v_c = \frac{\Re \eta}{d r}$$

\Re = numero di Reynolds
(numero privo di dimensioni)

$r \approx$ millimetri

- condotto rettilineo uniforme :
 $\Re \approx 1000 \div 1200$
- condotto non rettilineo e/o non uniforme :
 $\Re < 1000$

REGIME TURBOLENTO

① linee di velocità :

VORTICI

② moto :

RUMOROSO

③ relazione $Q \longleftrightarrow \Delta p$

(determinata dalla elevata dissipazione di **energia** per attrito)

$$\text{DEF resistenza fluido } R = \frac{|\Delta p|}{Q}$$

in regime turbolento :

$$R \propto Q \quad \Rightarrow \quad Q^2 \propto |\Delta p|$$

$$Q \propto \sqrt{\Delta p}$$

approssimazione iniziale :

MOTO STAZIONARIO di un LIQUIDO REALE e OMOGENEO in un CONDOTTO RIGIDO

REGIME LAMINARE

- lamine e profilo velocità parabolico
- $Q \propto \Delta p$
- silenzioso

$v > v_c$

(elevata dissipazione di energia per attrito)

REGIME TURBOLENTO

- vortici
- $Q \propto \sqrt{\Delta p}$
- rumoroso

(definizione e conservazione dell'energia)

REGIMI di MOTO nel SISTEMA CIRCOLATORIO

$$v_c = \frac{\Re \eta}{d r}$$

$$\begin{aligned}\Re &= 1000 \\ \eta &= 0.04 \text{ poise} \\ d &= 1 \text{ g cm}^{-3}\end{aligned}$$

• **AORTA** ($r = 0.8 \text{ cm}$)

$$v_c = \frac{1000 \times 0.04}{1 \times 0.8} = 50 \text{ cm s}^{-1}$$

velocità media nell'aorta : 42.5 cm s^{-1}

velocità istantanea : 5 cm s^{-1} \longleftrightarrow 150 cm s^{-1}

a) **MOTO TURBOLENTO**

all'apertura della valvola aortica

b) **MOTO LAMINARE**

nella restante parte del ciclo cardiaco

REGIMI di MOTO nel SISTEMA CIRCOLATORIO

r
↓

- **ARTERIE**
- **ARTERIOLE**
- **CAPILLARI**

r decrescente

v_c crescente

velocità effettiva in diminuzione

MOTO LAMINARE

- **VENULE**
- **VENE**
- **VENA CAVA**

v sangue $< v_c$

MOTO LAMINARE

