

CORSO DI LAUREA IN INFERMIERISTICA

FLUIDI NEI SISTEMI BIOLOGICI – II Meccanica

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

A. A. 2012 - 2013

Fabrizio Boffelli

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)

LIQUIDO PERFETTO: INCOMPRESSIBILE E PRIVO DI VISCOSITA'

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

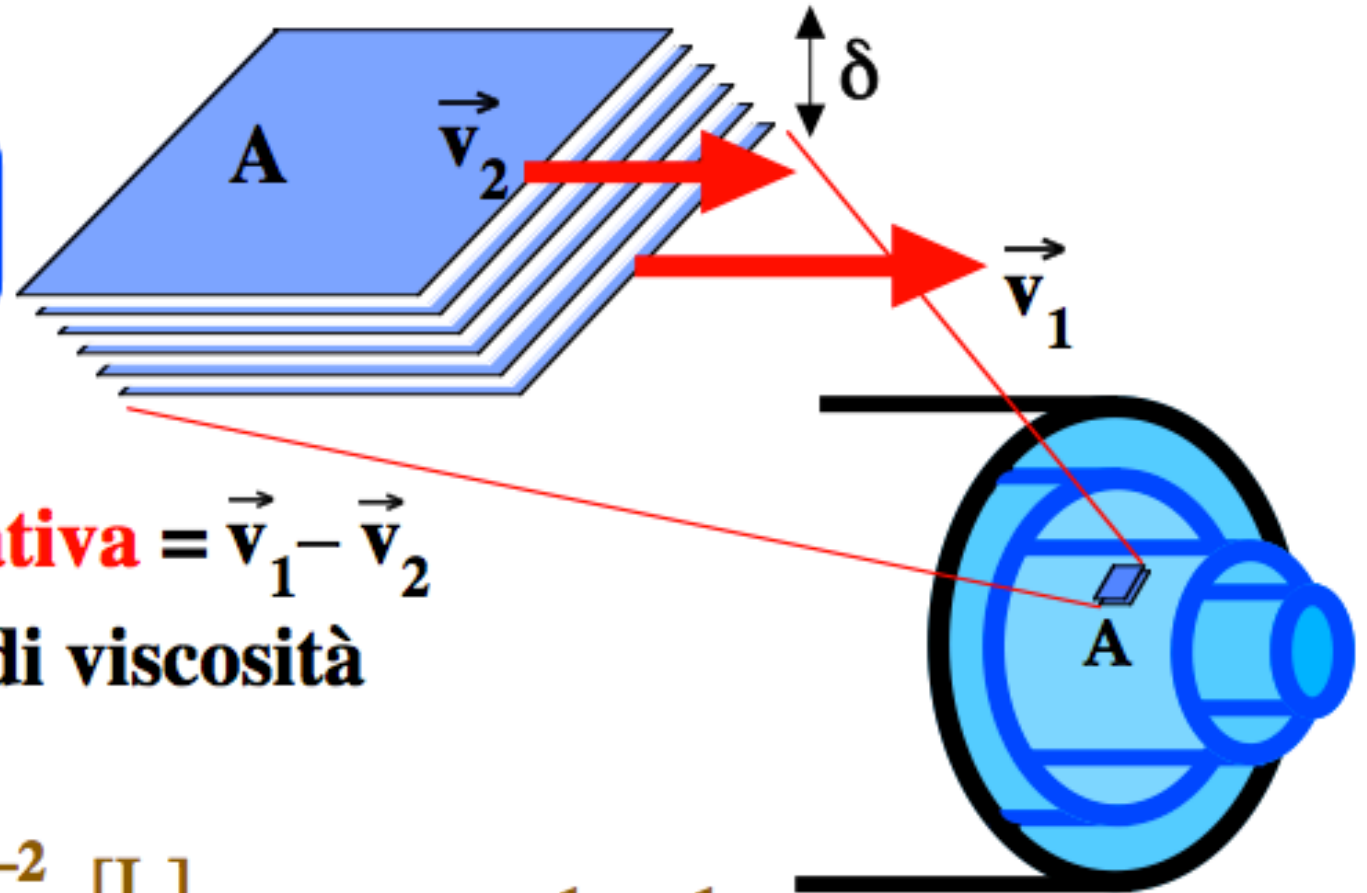
descrizione fenomeno reale (o quasi) :

**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} = **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)	
H ₂ O	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%)			



A scanning electron micrograph (SEM) showing numerous red blood cells. The cells are biconcave discs, appearing as reddish-brown, flattened spheres with a distinct indentation in the center. They are densely packed and shown from various angles, highlighting their three-dimensional structure. The background is a light, neutral color, making the cells stand out.

GLOBULI ROSSI

immagine da microscopio
elettronico a scansione

ingrandimento x 100 000
(scala reale in proiezione)

Viscosità

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

η coefficiente di viscosità

Unità di misura cgs:

poise = g/(s·cm)

La viscosità diminuisce al crescere della temperatura.

Acqua

a 0° $\eta_{\text{acqua}} = 0.0178$ poise a 20° $\eta_{\text{acqua}} = 0.0100$ poise

Sangue

Plasma $\rightarrow \eta_{\text{plasma}} = 1.5 \eta_{\text{acqua}}$

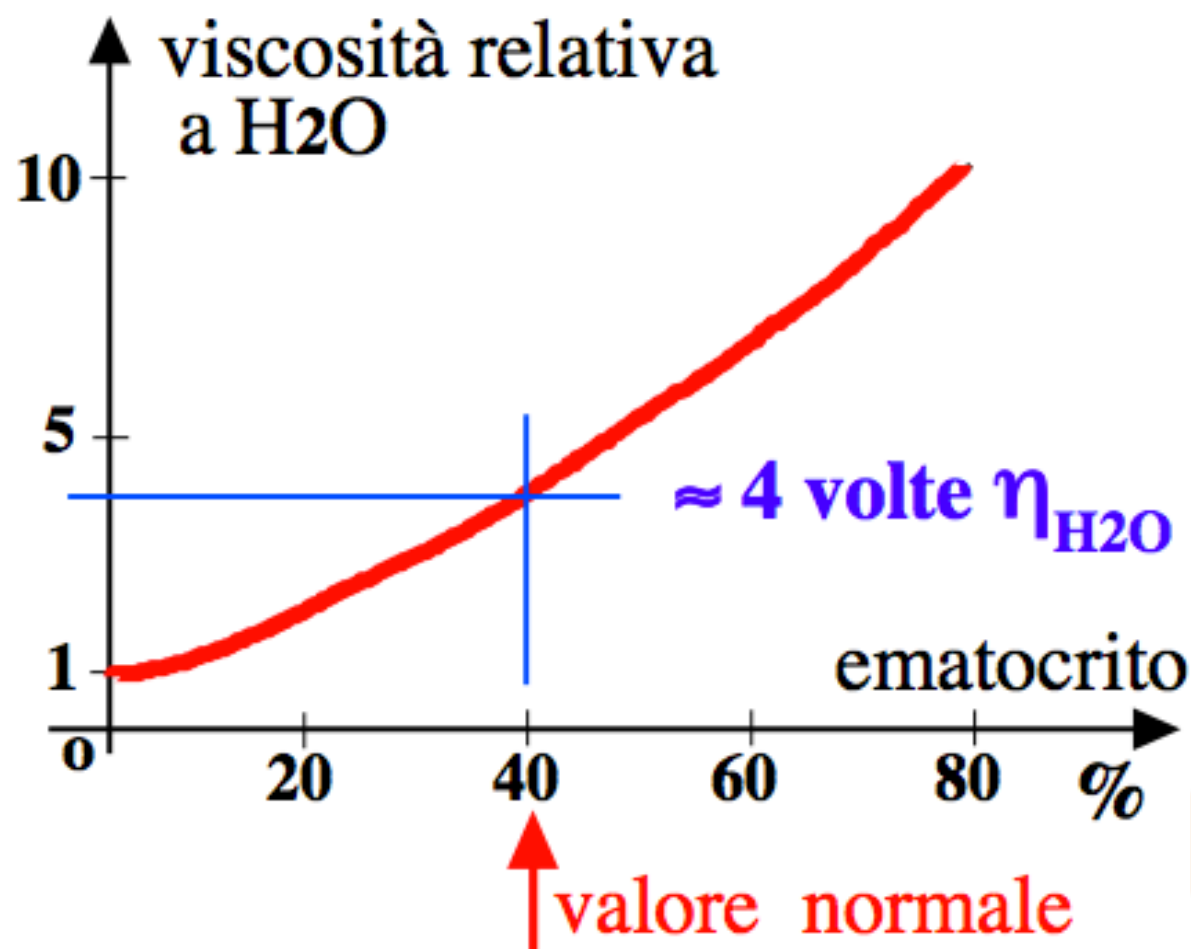
Sangue con ematocrito (% eritrociti) 40% $\rightarrow \eta_{\text{sangue}} = 5 \eta_{\text{acqua}}$

Es.

VISCOSITA' del SANGUE

comportamento viscoso normale

valore ematocrito : volume % occupato da eritrociti



anemia

↓
aumento Q **O.K.**

freddo

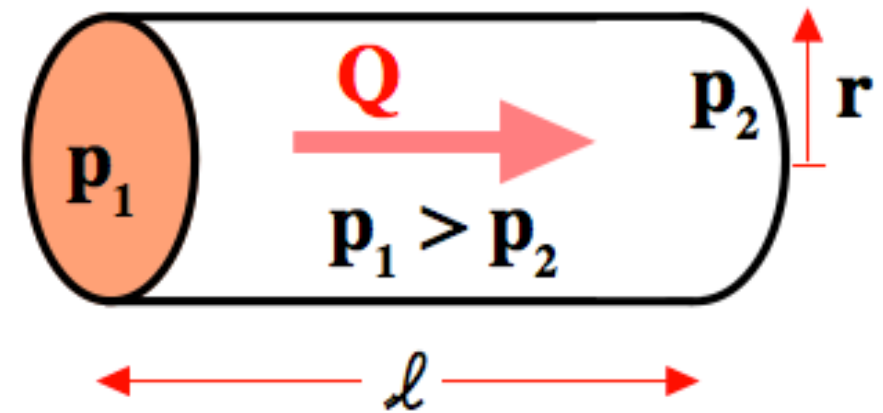
↓
diminuzione Q **K.O.**
congelamento

$\eta_{\text{sangue}} = 0.04$ poise

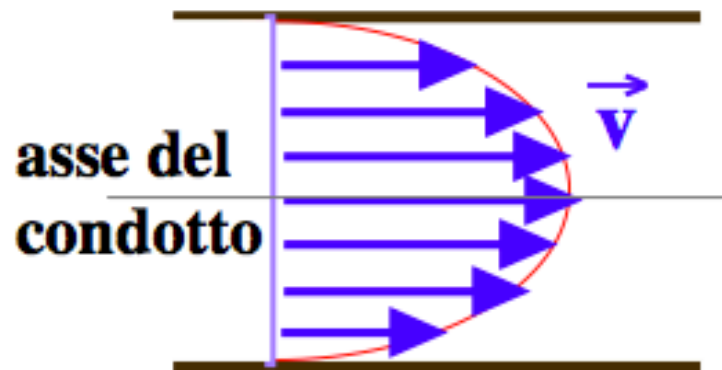
REGIME LAMINARE

① formula di Poiseuille

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



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

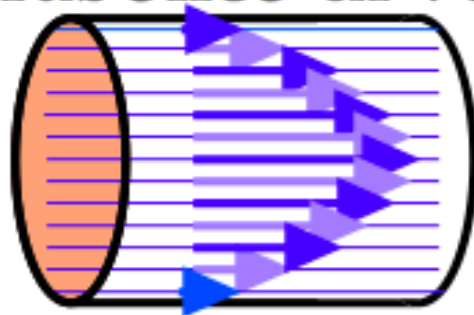
- regime laminare

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

(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)

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

*raddoppio la portata
=
quadruplico la pressione*

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



Misura di pressione arteriosa

In generale, il sangue scorre con moto laminare, che può diventare turbolento solo in alcuni casi particolari (valvole cardiache, stenosi, esercizio fisico,...). Il moto turbolento, essendo rumoroso, può essere rilevato mediante auscultazione con un **fonendoscopio**.

Lo **SFIGMOMANOMETRO**, strumento usato per misurare la pressione arteriosa, costituito da un manicotto in gomma avvolto attorno ad un braccio del paziente, sfrutta proprio il **passaggio da moto laminare a turbolento**.

Pompando aria nel manicotto, viene compressa l'arteria brachiale: la sezione diminuisce e la velocità del sangue aumenta, finché, raggiunta la velocità critica, il moto diventa turbolento, e se ne sente il caratteristico rumore. Aumentando ancora la pressione esterna, la circolazione si interrompe e il rumore scompare.

Facendo uscire poi l'aria dal manicotto, la pressione diminuisce e il moto del sangue riprende, ancora turbolento e quindi rumoroso. Diminuendo ancora la pressione, il moto diventa laminare e il rumore scompare.

Si assume come **pressione massima (sistolica)** il punto di ripresa del moto turbolento (inizio del rumore), e come **pressione minima (diastolica)** il punto di ritorno al moto laminare (cessazione del rumore).

