

**La fisica è bella e utile**  
Ovvero perché le scienze della vita hanno  
bisogno della fisica.

(1)

**Paola Scampoli**  
*Università di Napoli Federico II*  
*Università di Berna*  
*paola.scampoli@unina.it*

# A che mi serve la fisica?



## Australia: cercasi sorgente radioattiva

# Australia, capsula altamente radioattiva persa per strada: caccia senza sosta



30 gennaio 2023



**O**ltre al possibile rischio di una guerra nucleare dall'Australia arriva una situazione potenzialmente esplosiva. Una società mineraria si è infatti scusata per aver perso una capsula altamente radioattiva su un tratto di 1.400 chilometri della zona occidentale del Paese, mentre le autorità hanno setacciato parti della strada alla ricerca della piccola ma pericolosa sostanza. La capsula faceva parte di un dispositivo che si ritiene sia caduto da un camion mentre veniva trasportato tra un sito nel deserto e Perth lo scorso 10 gennaio.

I servizi di emergenza dell'Australia Occidentale hanno chiesto aiuto ad altri Stati australiani e al governo federale per il ritrovamento della capsula, poiché non dispongono delle attrezzature adatte. La capsula misura 8 millimetri per 6 millimetri e le persone sono state avvisate che potrebbe essersi inconsapevolmente incastrata **nei pneumatici** della loro auto. La sorgente di cesio 137 in ceramica, comunemente usata nei misuratori di radiazioni, emette quantità pericolose di radiazioni, equivalenti a 10 raggi X in un'ora. Potrebbe causare ustioni alla pelle e un'esposizione prolungata potrebbe causare il cancro.

# The Guardian

...

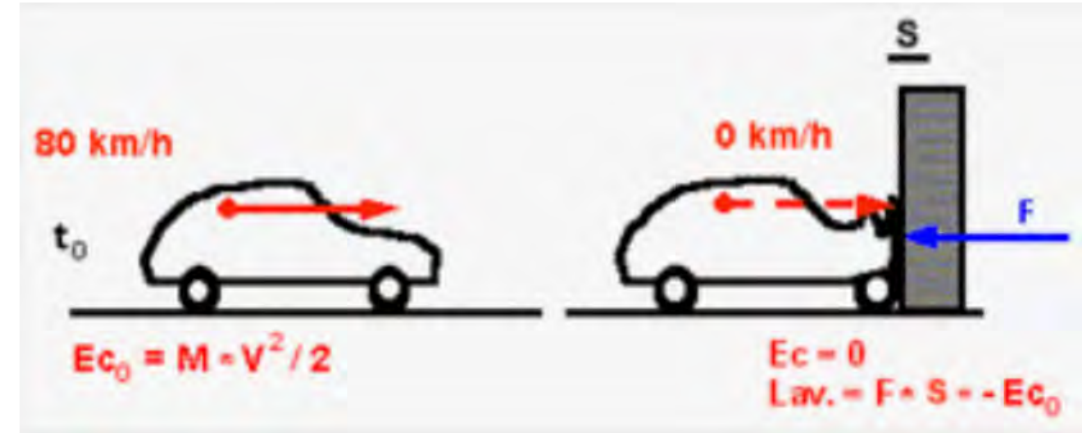
The 8 mm by 6 mm capsule – a 19-gigabecquerel caesium 137 ceramic source

...

Standing within a metre of the capsule is the equivalent of receiving 10 X-rays in an hour, health authorities have warned, urging anybody who finds it not to pick it up or go near it.

...

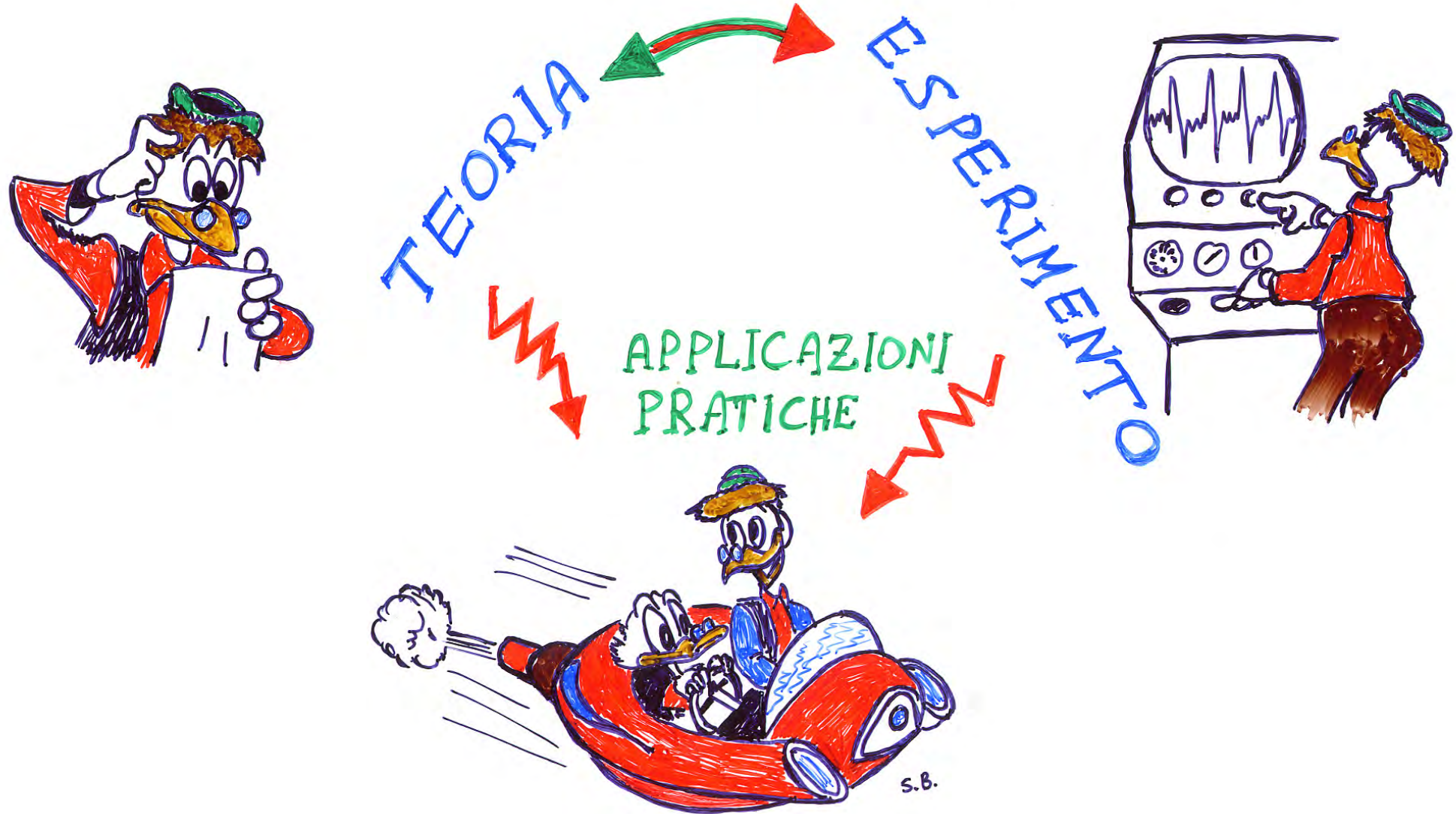
# Un esempio dalla strada



I legge di Newton

Velocità  
Energia cinetica  
II legge di Newton

# Il metodo scientifico





# Una legge esponenziale



$$V_{\text{Foam}} \propto N_{\text{Bubbles}}$$



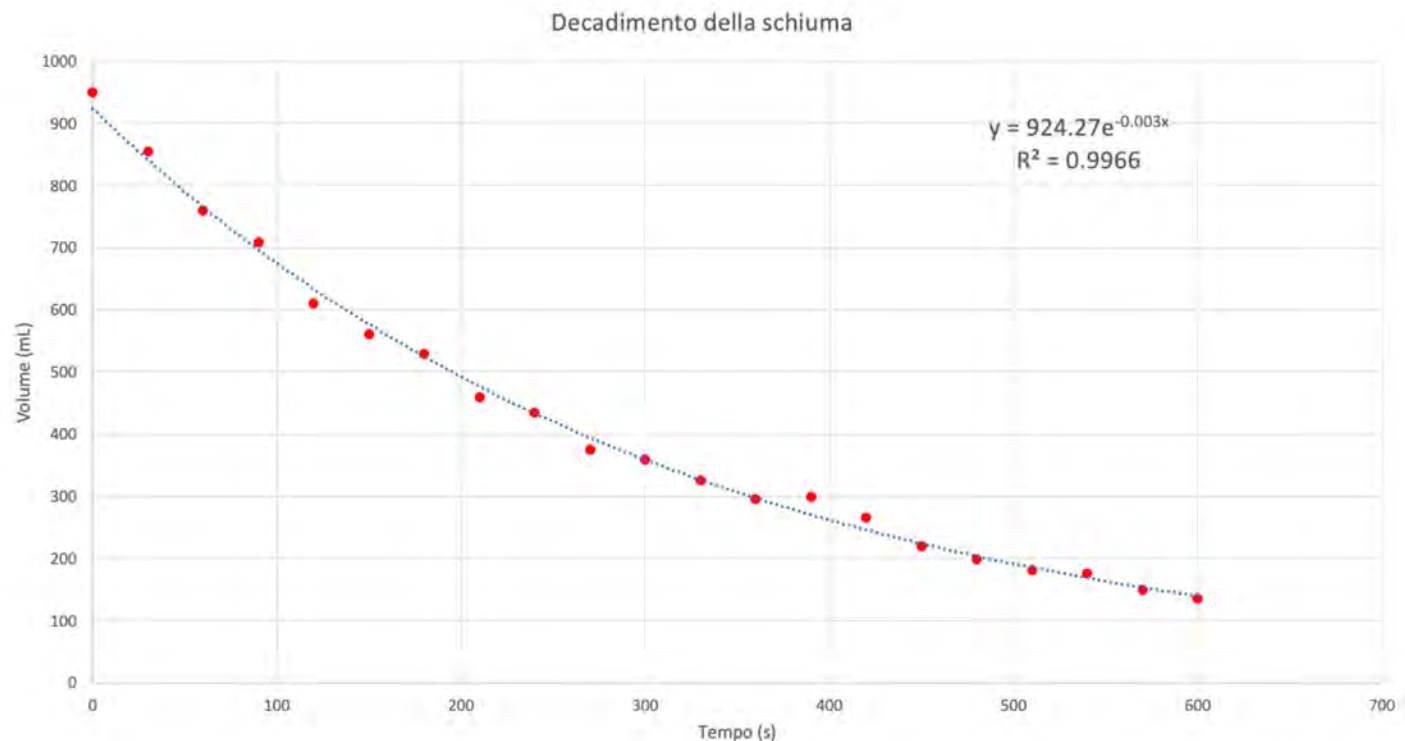
# Una legge esponenziale



Courtesy Prof. S. Braccini, LHEP, Bern

# Una legge esponenziale

Tempo (s)	H1 (mL)	H2 (mL)	H2-H1 (mL)
0	70	1020	950
30	145	1000	855
60	230	990	760
90	270	979	709
120	290	900	610
150	310	870	560
180	328	858	530
210	340	800	460
240	350	786	436
270	355	730	375
300	364	723	359
330	370	695	325
360	373	668	295
390	380	680	300
420	384	650	266
450	386	606	220
480	390	590	200
510	400	581	181
540	393	570	177
570	395	544	149
600	397	532	135



$$V(t) = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

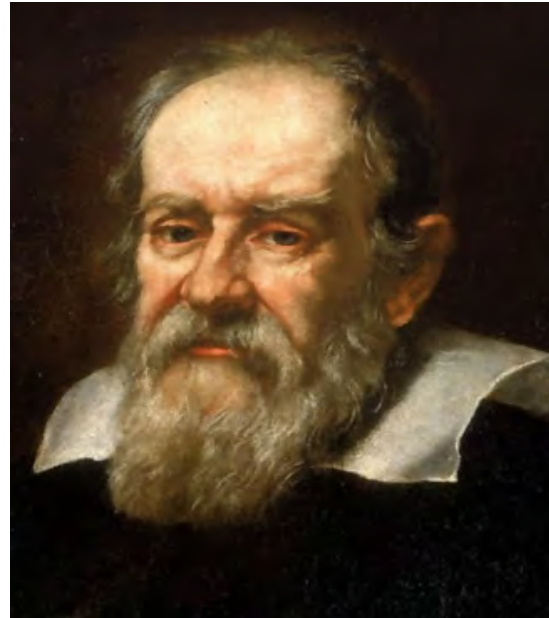
$$T_{1/2} = (231 \pm 12)s$$

Tempo di dimezzamento

# "I padri fondatori (tra fisica e vita)"



**Leonardo da Vinci**  
(1452 – 1519)



**Galileo Galilei**  
(1564 – 1642)



**Francesco Redi**  
(1626 – 1697)

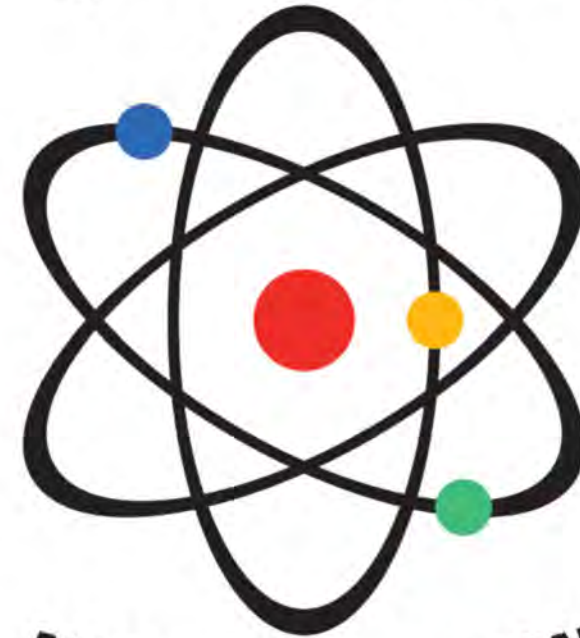
# Tre esempi nelle scienze della vita

Funzionamento del corpo umano

Guardare dentro al corpo umano

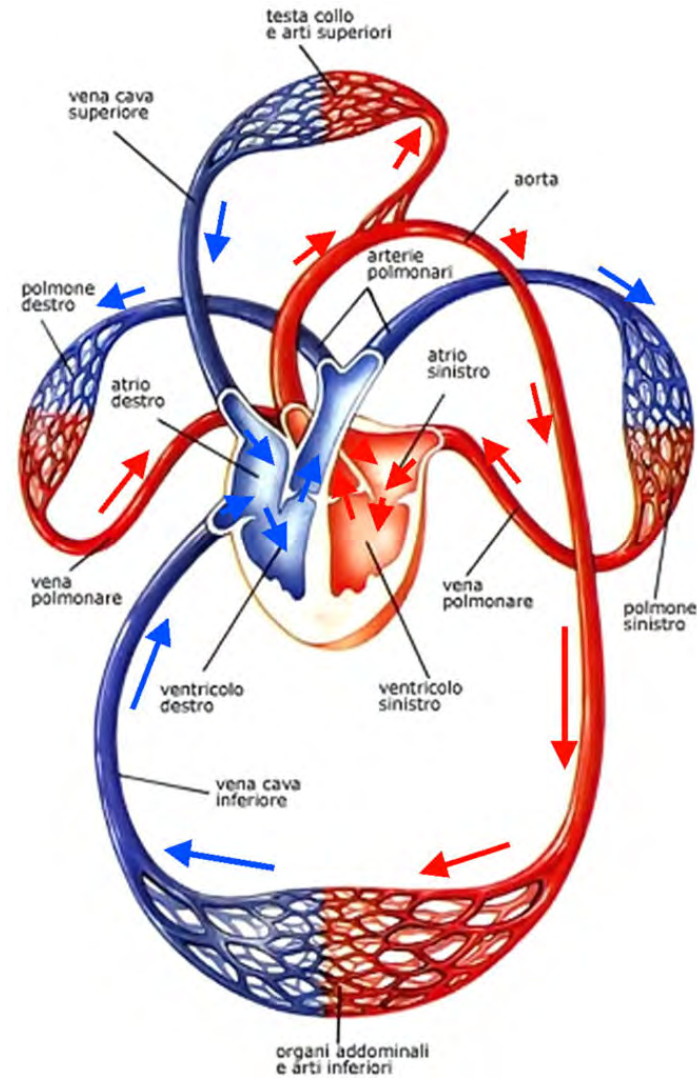
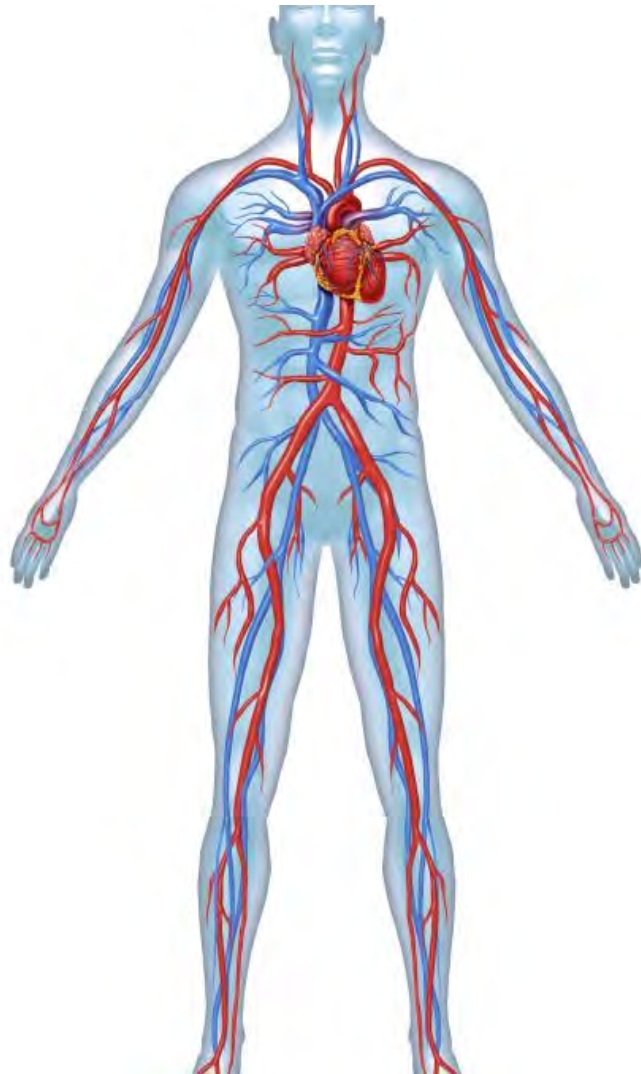
Curare il corpo umano

**EVERYTHING HAPPENS  
FOR A REASON**



**AND THAT REASON  
IS USUALLY PHYSICS**

# Il sistema cardiocircolatorio



# Il sistema cardiocircolatorio...

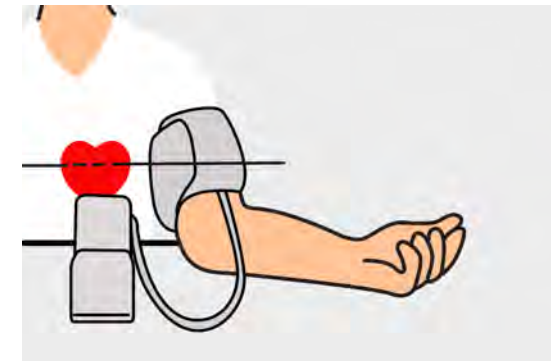
Qual è il destino di un aneurisma



Cosa succede se in vaso si accumula colesterolo



Misura della pressione sanguigna



# ... una questione di fluido-dinamica...



Daniel Bernoulli  
(1700 – 1782)



Jean Léonard Marie Poiseuille  
(1799 – 1869)

# ... ma soprattutto di leggi di conservazione

Legge di continuità



Raggiungo la seconda aiuola ostruendo parzialmente l'uscita del tubo

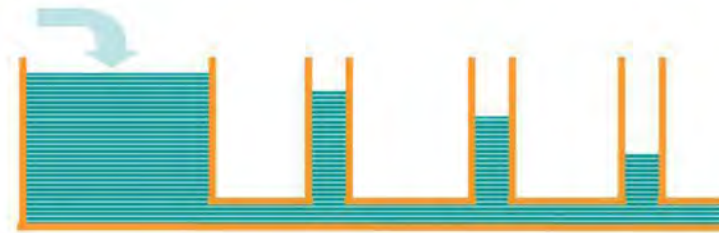
Teorema di Bernoulli



L'energia del fluido per unità di volume è uguale in ogni punto del fluido



Legge di Poiseuille



Se il fluido è viscoso, allora energia è dissipata e quindi ho una perdita di pressione



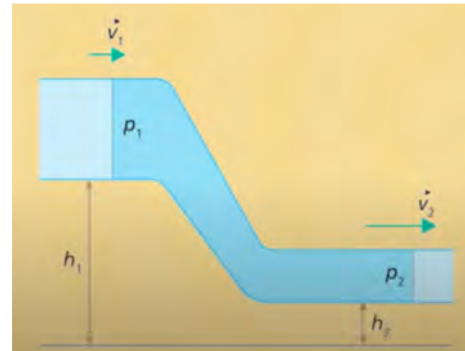
# Il linguaggio della fisica ovvero la stenografia della natura

Equazione di continuità



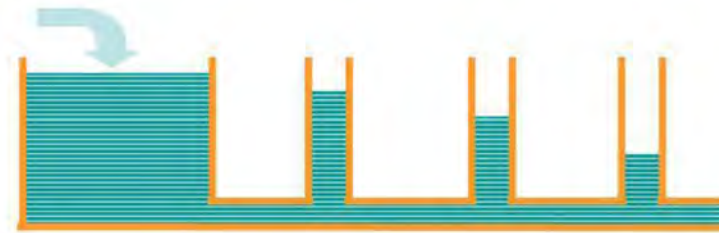
$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{costante}$$

Teorema di Bernoulli



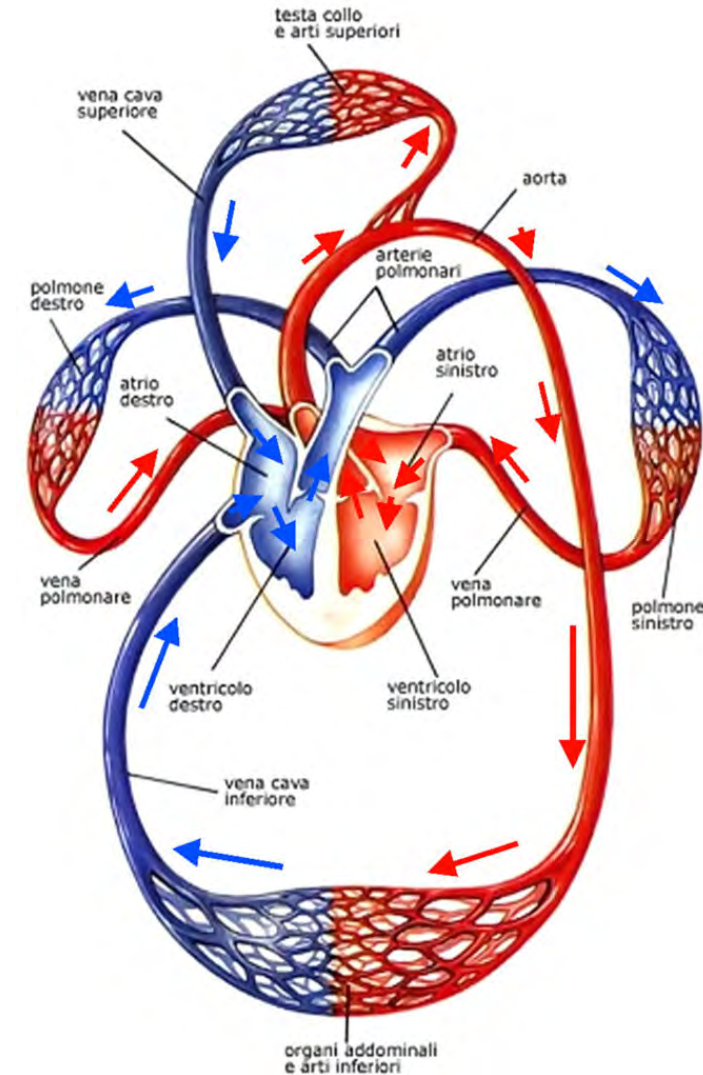
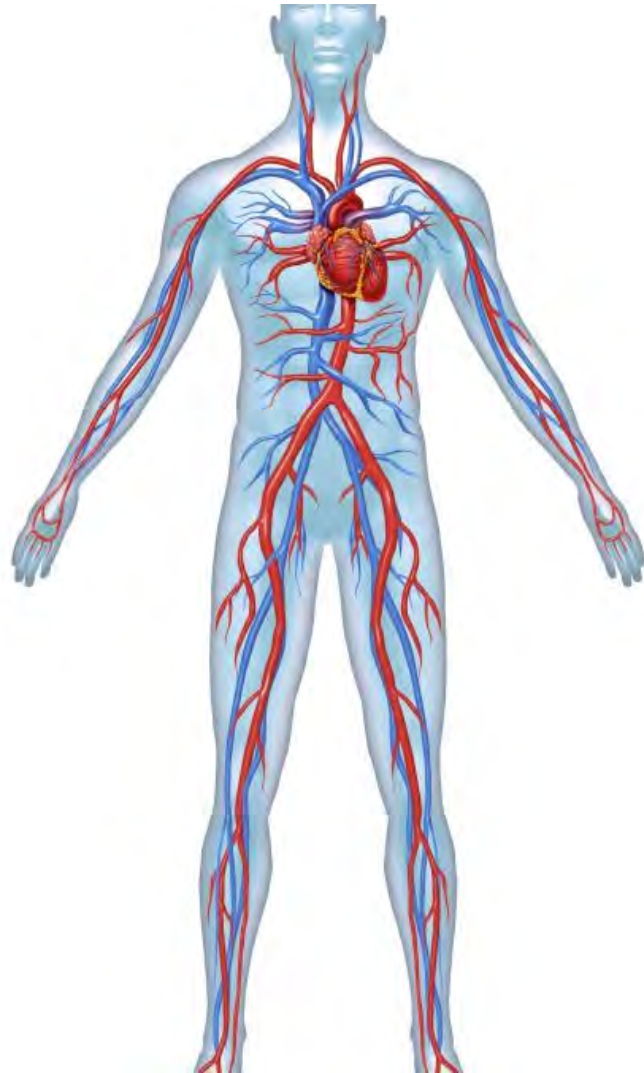
$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{costante}$$

Legge di Poiseuille

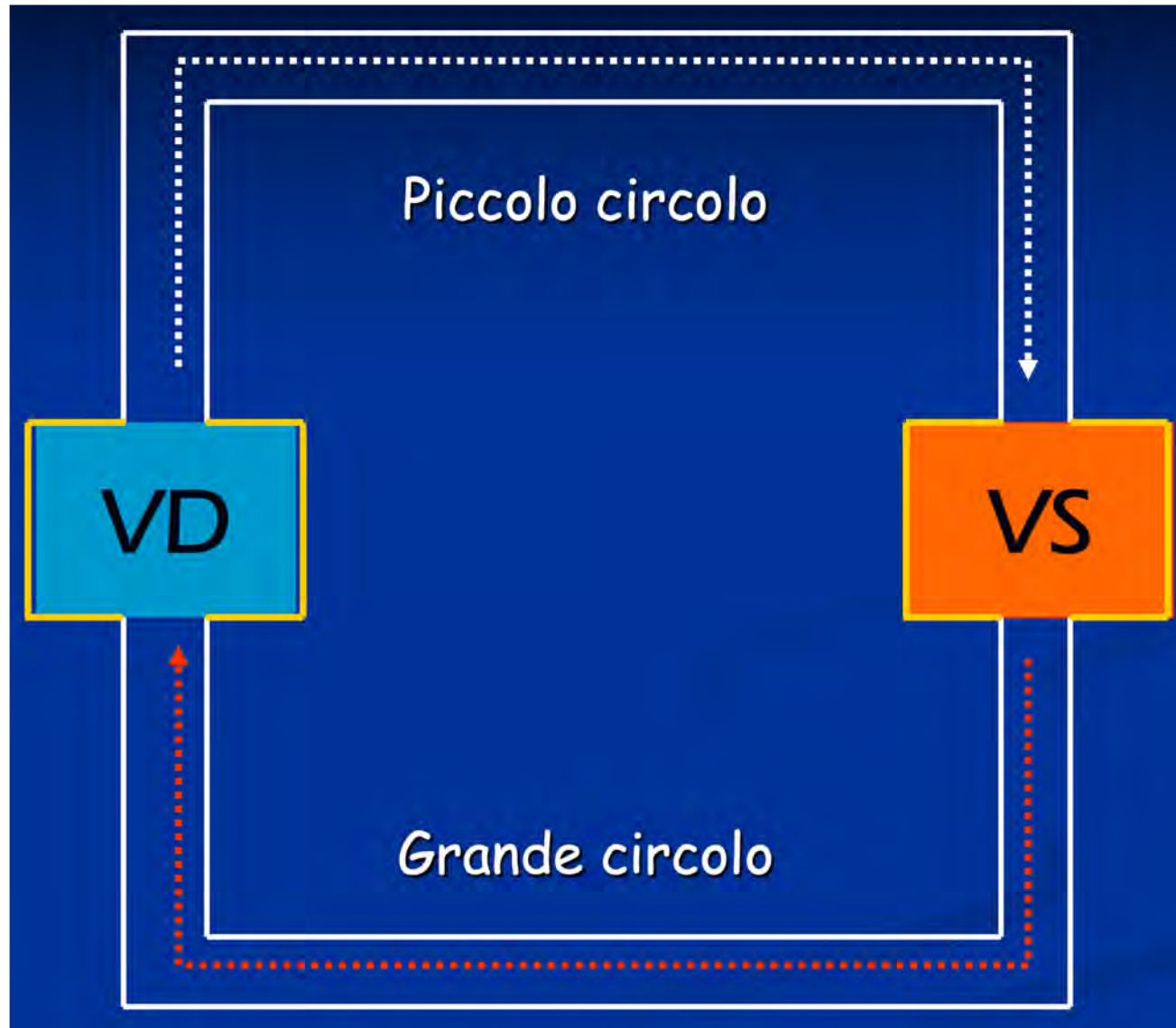


$$(P_1 - P_2) = Q \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$

# Sistema cardiocircolatorio: un sistema idraulico?



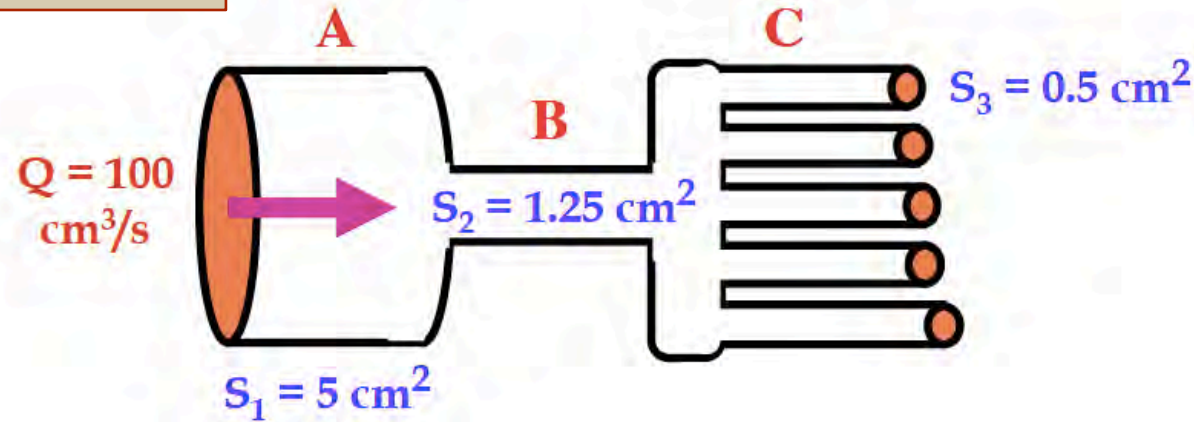
# Sistema cardiocircolatorio: un sistema idraulico



$$Q = 5 \frac{L}{\text{minuto}}$$

# Velocità del sangue nei capillari

## Equazione di continuità



Se il condotto si apre in più diramazioni, bisognerà tener conto di tutte le superfici, cioè:  
 $Q = \sum_n Q_n$  con  $Q_n = S_n v_n$

$$S_1 = 5 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = 1.25 \text{ cm}^2$$

$$S_{3tot} = 0.5 \times 5 = 2.5 \text{ cm}^2$$

$$v_1 = 20 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$v_2 = 80 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$v_{3tot} = 40 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Nell'ultimo tratto conta la **sezione totale dei canali!**

# Quanti capillari abbiamo?

Il raggio dell'**aorta** 1.2 cm e il sangue che vi scorre attraverso ha una velocità di circa 40 cm/sec.

Un **capillare** ha un raggio di circa  $4 \cdot 10^{-2}$  cm e il sangue vi scorre attraverso ha una velocità di circa  $5 \cdot 10^{-4}$  cm/s.

# Quanti capillari abbiamo?

Ipotesi: la densità del sangue non cambia

$$Q_{aorta} = Q_{capillari}$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$



$$\pi r_{aorta}^2 v_1 = N \pi r_{capillari}^2 v_2$$

$$N = \frac{v_1}{v_2} \frac{r_{aorta}^2}{r_{capillari}^2}$$

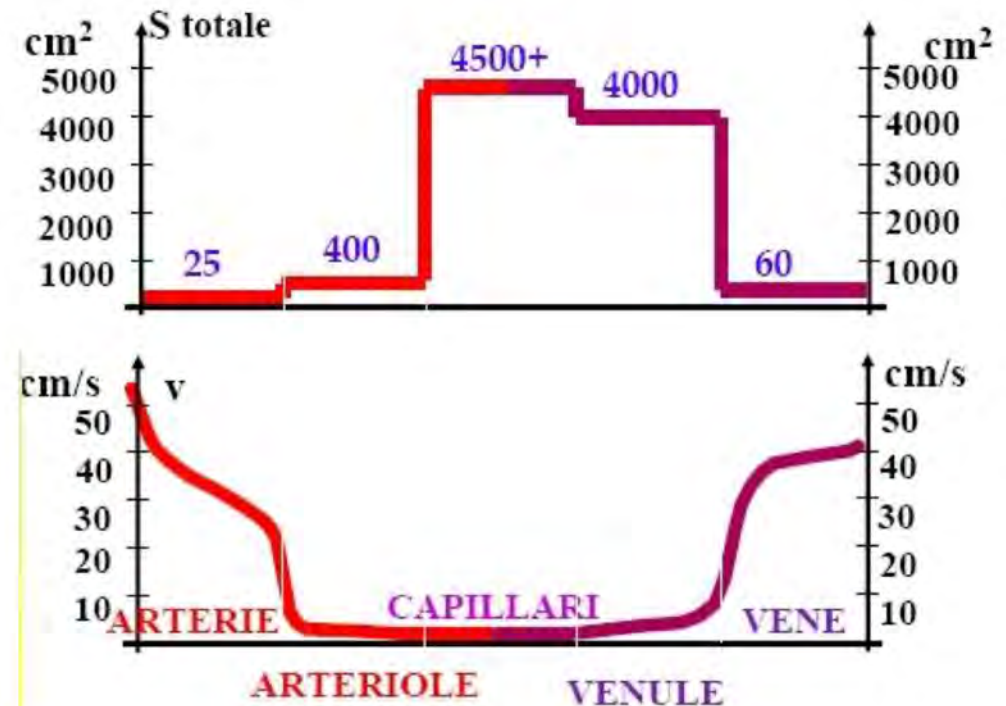
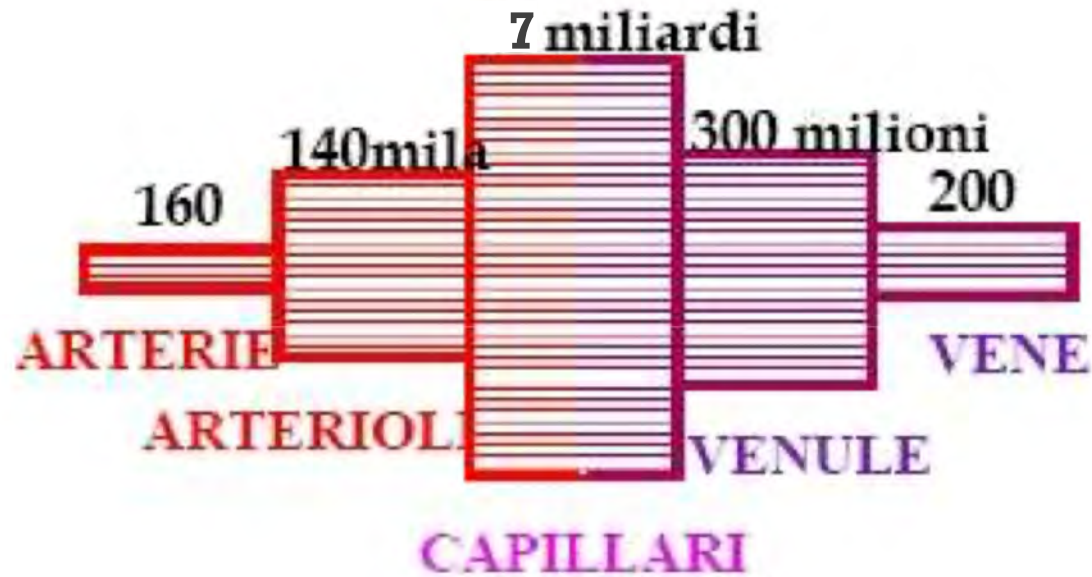


$$N = \left( \frac{0.4 \frac{m}{s}}{5 \cdot 10^{-4} \frac{m}{s}} \right) \left( \frac{1.2 \cdot 10^{-2} m}{4 \cdot 10^{-6} m} \right)^2 \approx 7 \cdot 10^9$$

**Abbiamo circa 7 miliardi di capillari!**

# Quanti capillari abbiamo?

Dato il numero altissimo di capillari, l'area trasversale effettiva, sarà di circa  $2500 \times 10^{-4} \text{ m}^2$



La bassissima velocità del sangue nei capillari ( $v=0.2 \text{ mm/s}$ ) permette gli scambi di sostanze (reazioni chimiche) necessari alla vita.

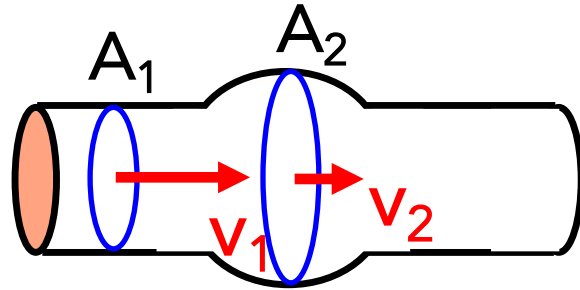
# Velocità del sangue

**CUORE**

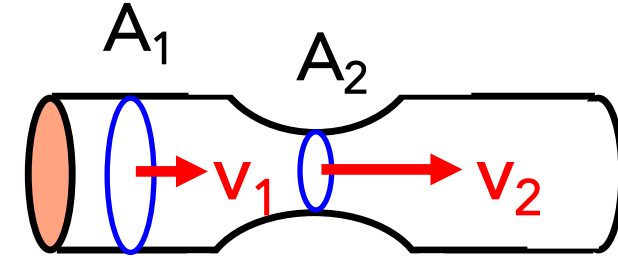
	velocità media (cm/s)	pressione media (mmHg)
<b>AORTA</b>	50÷40	100
<b>ARTERIE</b>	40÷10	100÷40
<b>ARTERIOLE</b>	10÷0.1	40÷25
<b>CAPILLARI</b>	<0.1	25÷12
<b>VENULE</b>	<0.3	12÷8
<b>VERNE</b>	0.3÷5	8÷3
<b>VENA CAVA</b>	5÷25	2



# Aneurismi e stenosi



Velocità nella sezione 2 minore rispetto alla sezione 1



Velocità nella sezione 2 maggiore rispetto alla sezione 1

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{costante}$$

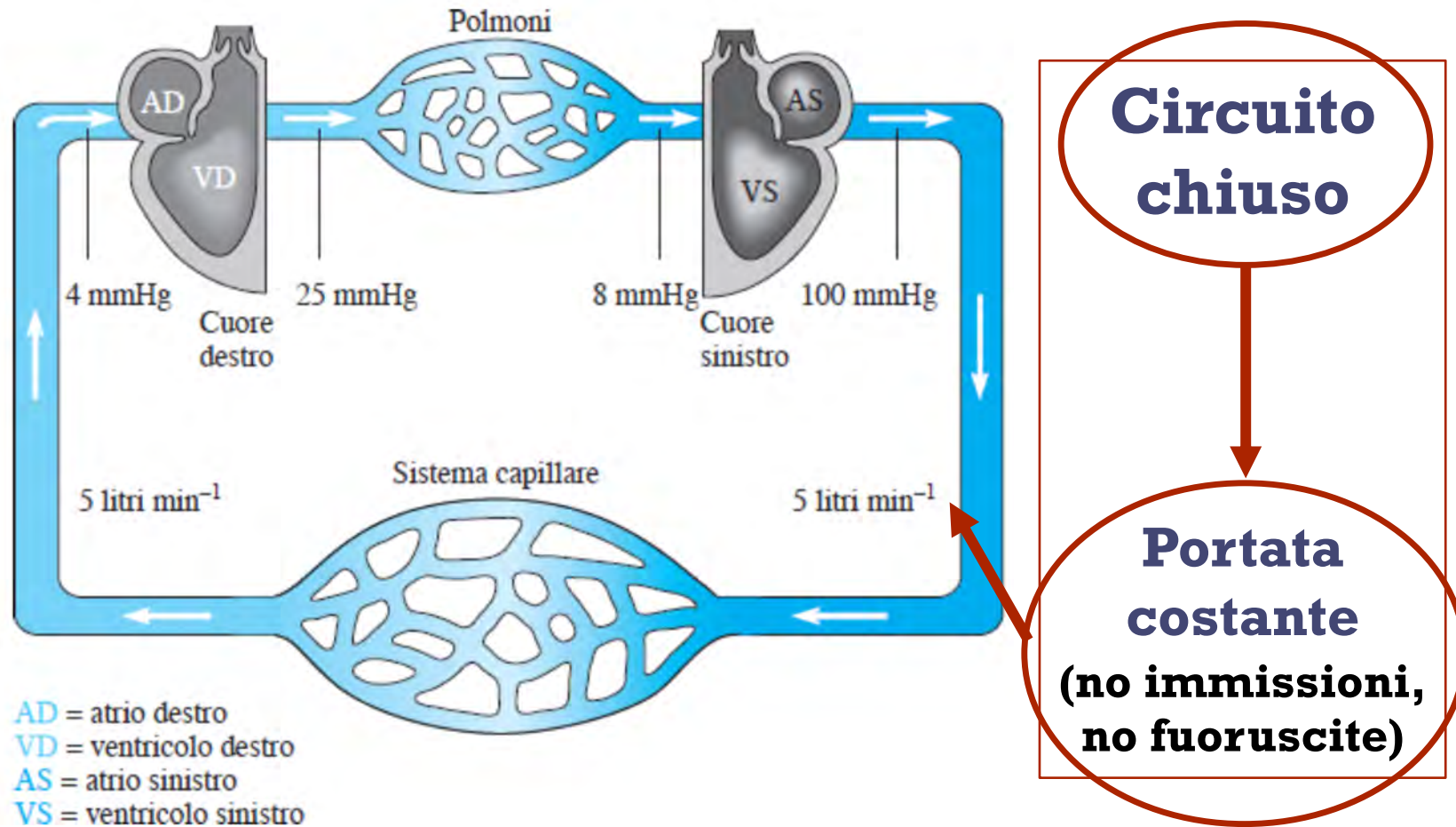
$$\text{Sezione 1: } 5 + 8 + 6 = 19$$

$$\text{Sezione 2: } 9 + 4 + 6 = 19$$

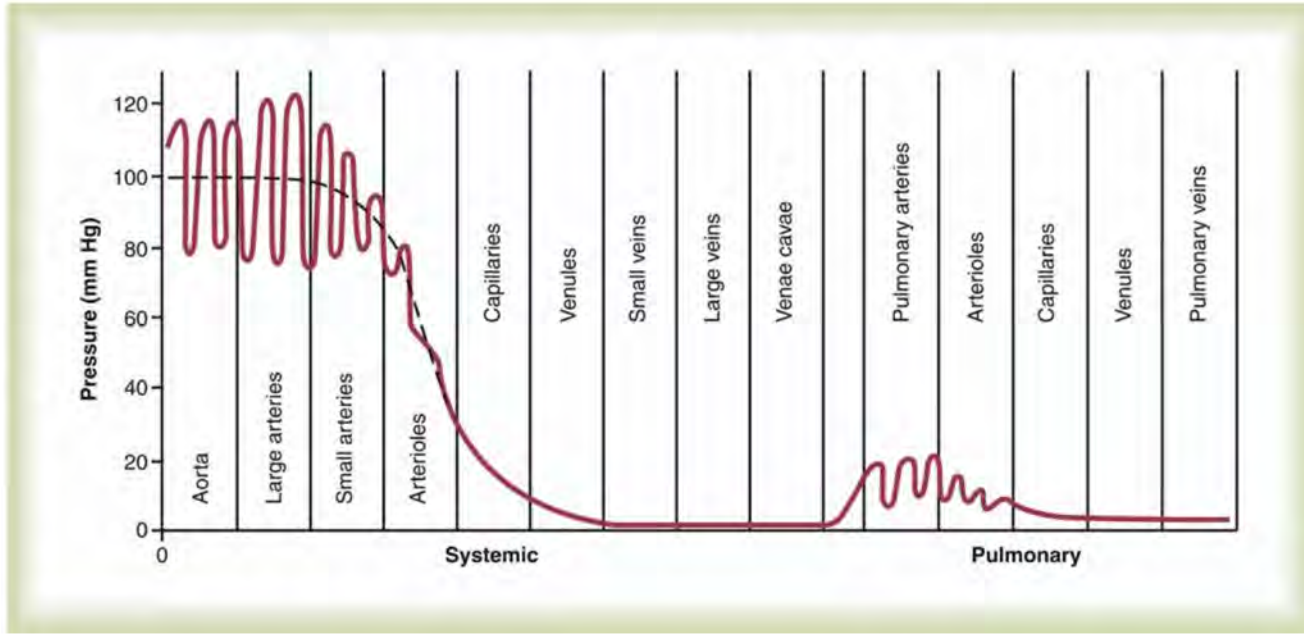
$$\text{Sezione 1: } 5 + 8 + 6 = 19$$

$$\text{Sezione 2: } 3 + 10 + 6 = 19$$

# La pressione del sangue



# La pressione del sangue



La pressione del sangue all'inizio dell'aorta, non è costante varia da un valore massimo durante la sistole a un valore minimo durante la diastole.

## ➤ Sistole:

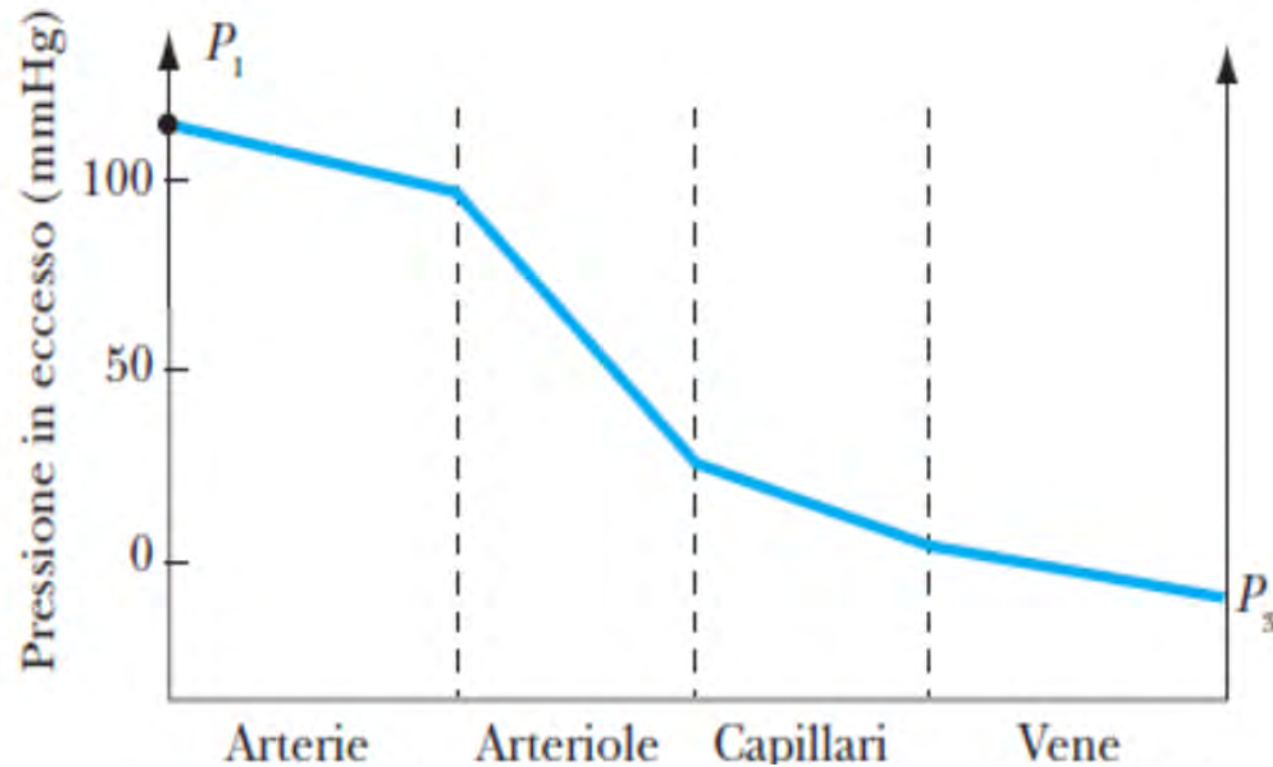
- l'aorta, essendo elastica, si gonfia
- La velocità del sangue diminuisce
- La pressione aumenta (teorema di Bernoulli)
- l'energia cinetica del sangue viene in parte immagazzinata sotto forma di energia potenziale elastica dell'arteria

## ➤ Diastole:

- l'aorta, essendo elastica, si rilascia
- La velocità del sangue aumenta
- La pressione diminuisce (teorema di Bernoulli)
- l'energia potenziale si trasforma di nuovo in energia cinetica del sangue

# La pressione del sangue

- Variazione della pressione media (in eccesso rispetto a quella atmosferica) del sangue nei vari distretti del sistema circolatorio.



$$(P_1 - P_2) = Q \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$

# Come la misuriamo?



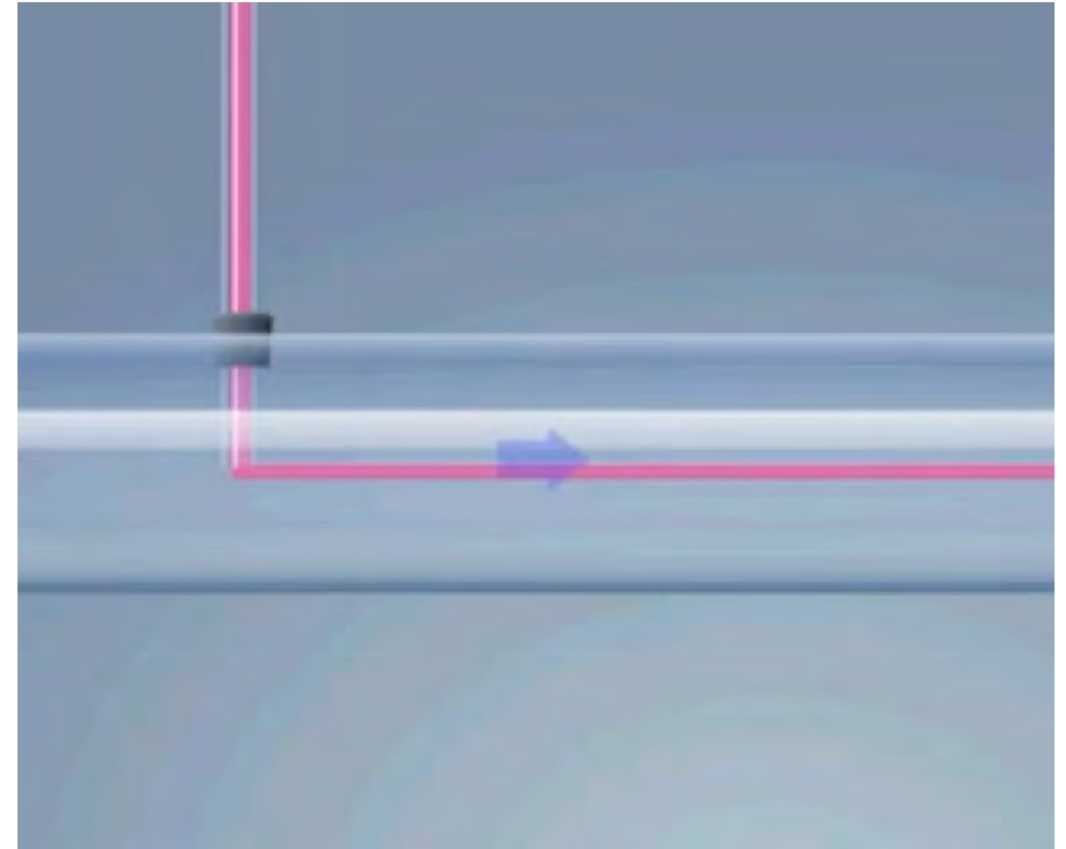
Passaggio da moto laminare a turbolento  
(rumoroso)



# Numero di Reynolds



Osborne Reynolds  
1842 - 1912



Il passaggio da moto laminare a turbolento è indicato dal numero di Reynolds

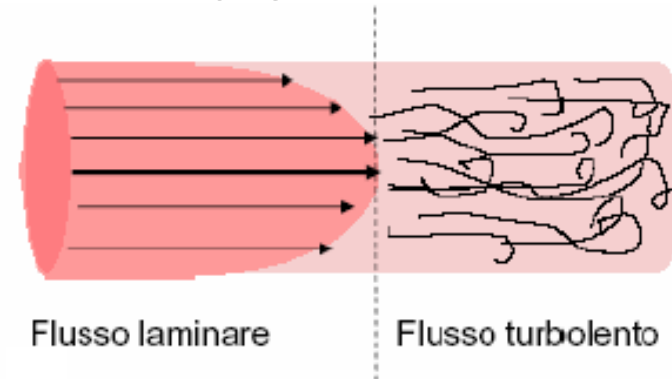
$$\text{Reynolds} = \frac{\text{densità} \times \text{velocità} \times \text{diametro}}{\text{viscosità}}$$

# Come la misuriamo?



Compressione arteria brachiale e lento rilascio dell'aria del manicotto

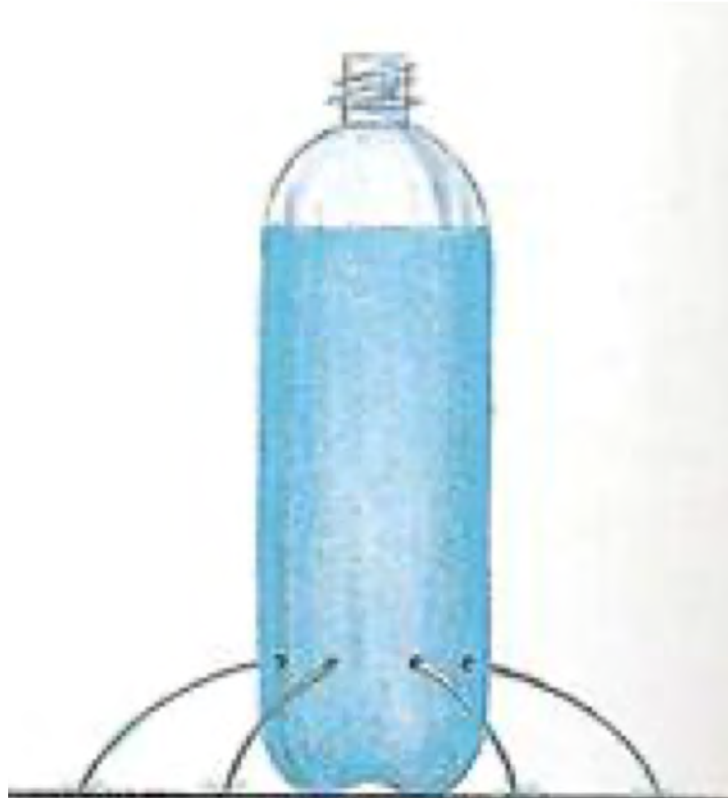
Sezione piccola → velocità grande → moto turbolento → rumore



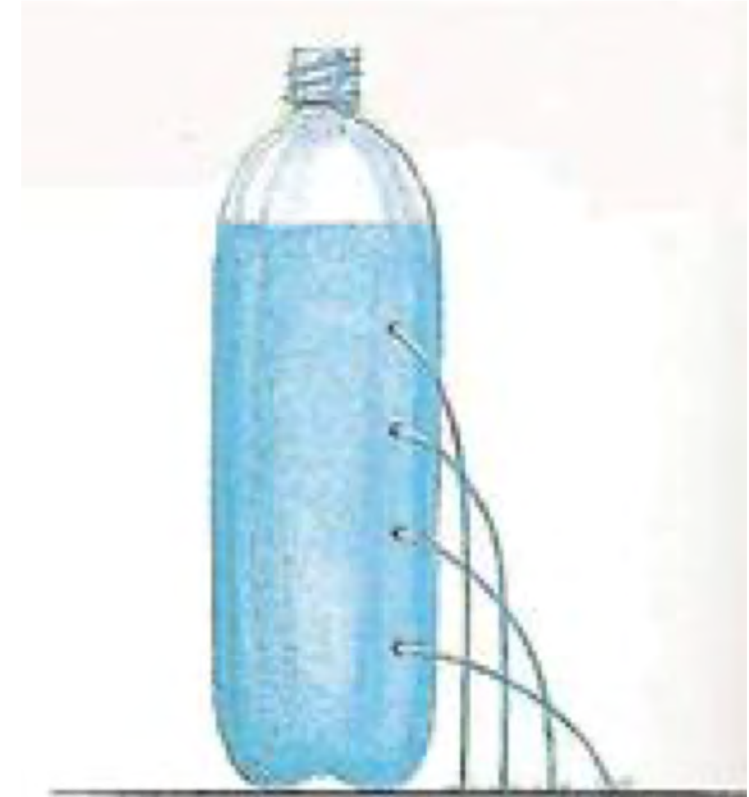
Rilascio totale dell'aria nel manicotto

Sezione grande → velocità piccola → moto laminare → assenza di rumore

# La legge di Stevino



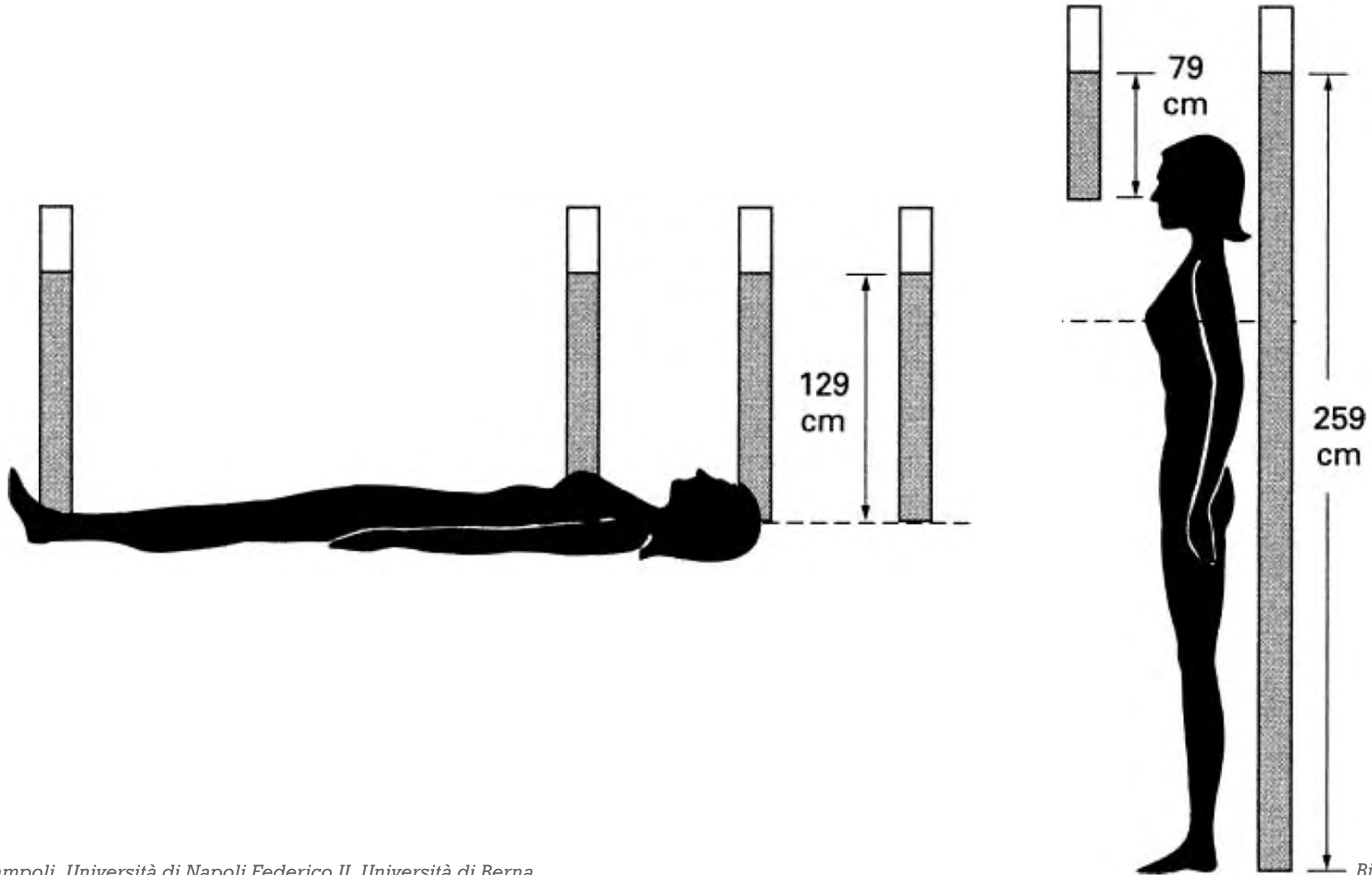
$$P = P_0 + \rho gh$$



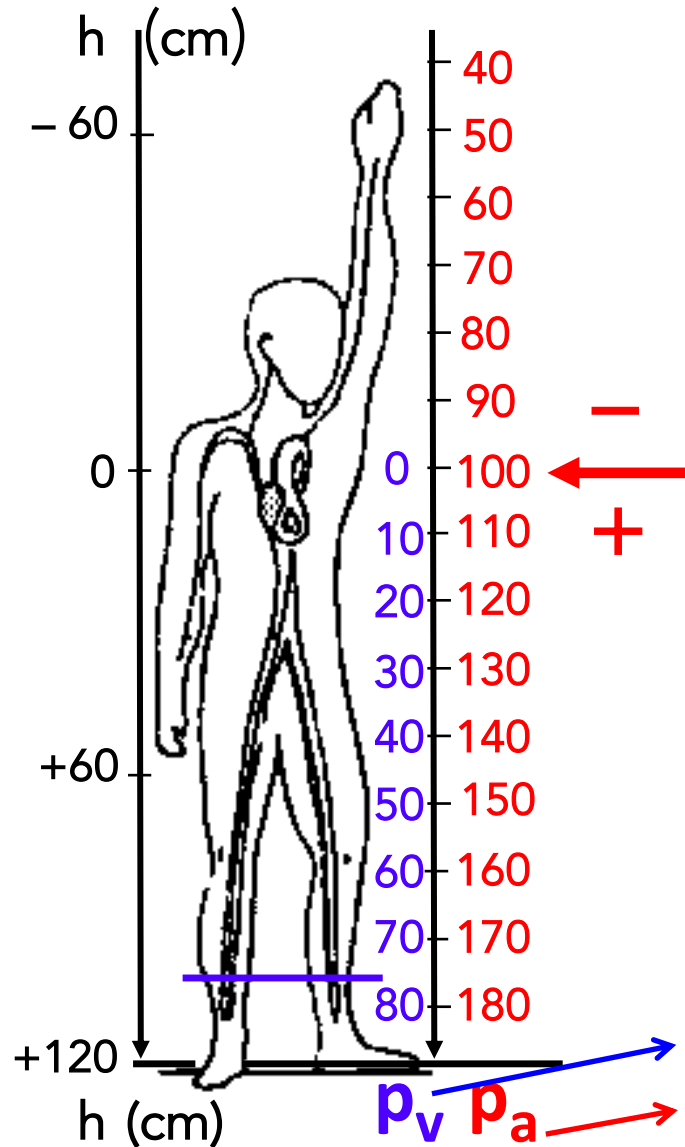
La pressione in un liquido di densità  $\rho$  dipende solo dalla profondità, qualunque sia la forma del contenitore (**Legge di Stevino**)



# La pressione del sangue



# La pressione del sangue

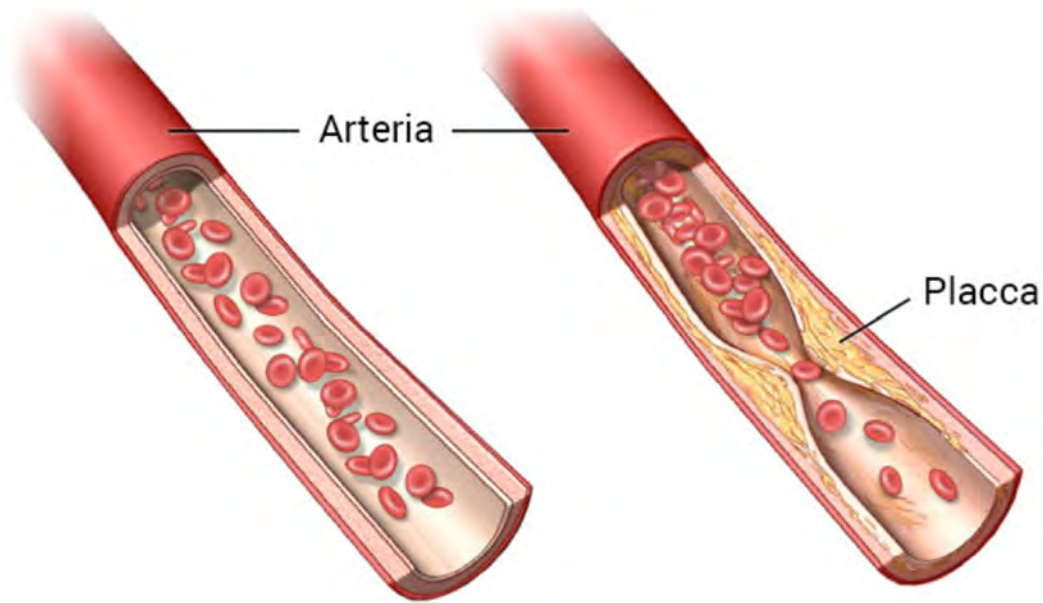


**Aumento di pressione a livello dei piedi:**

distanza cuore-piedi  $\sim 1$  m;  $\rho_{\text{sangue}} \sim \rho_{\text{acqua}}$

$$P = \rho g h = (10^3 \text{ kg/m}^3) \cdot (9.8 \text{ m/s}^2) \cdot (1 \text{ m})$$
$$= 9800 \text{ Pa} = 9800 \cdot (760/101200) \text{ mmHg}$$
$$= 74 \text{ mmHg (non trascurabile!)}$$

# L'arteriosclerosi

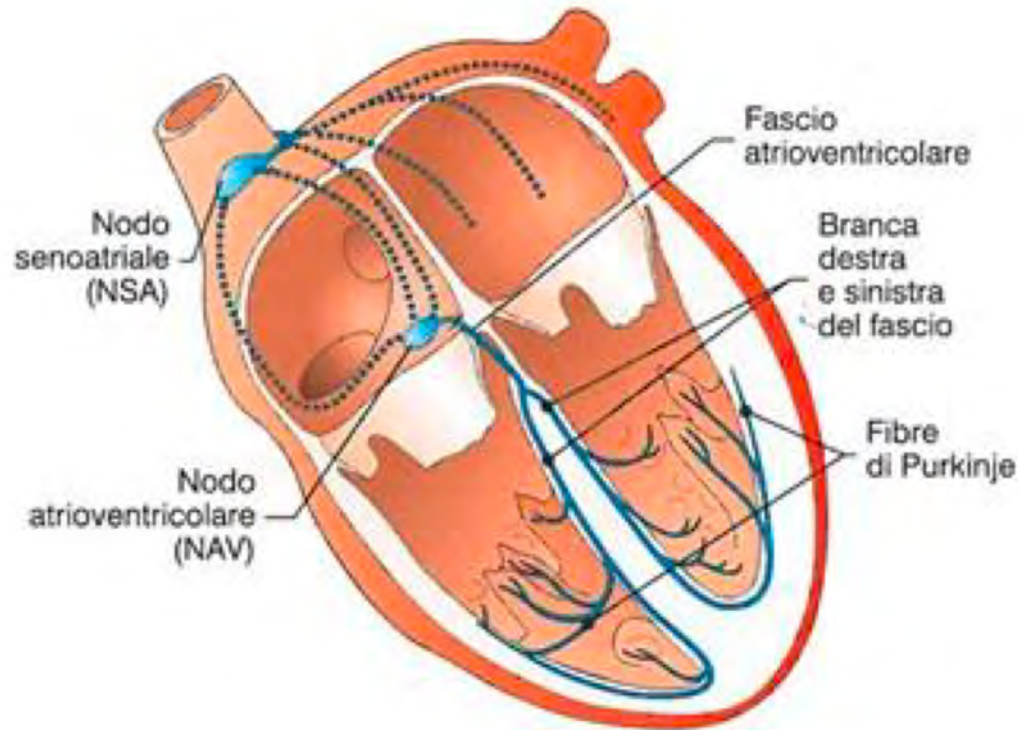


1. Equazione di continuità
2. Teorema di Bernoulli
3. Legge di Poiseuille
4. Numero di Reynolds
5. Perdita di elasticità del vaso

# Il cuore: una pompa idraulica governata dall'elettricità



# Il cuore elettrico

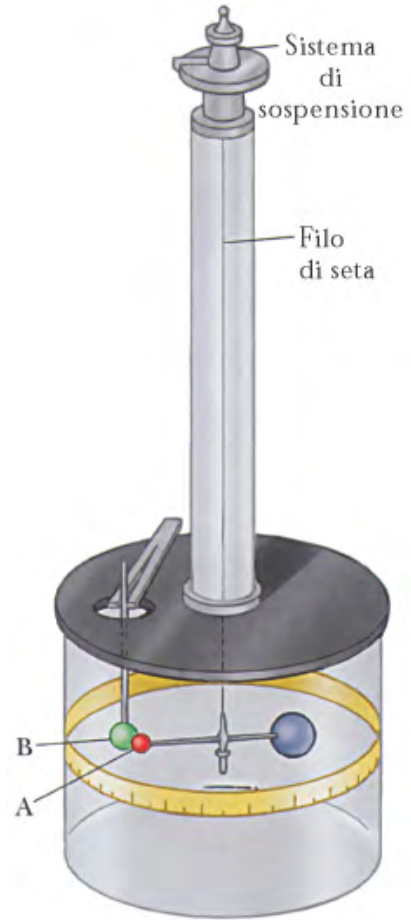


Sistole e diastole coinvolgono interamente il cuore

La contrazione di ogni cellula parte con un segnale elettrico che ha inizio nel nodo senoatriale

Il segnale elettrico viene trasmesso a tutte le cellule del miocardio (accoppiate elettricamente)

# Il campo elettrico e il potenziale



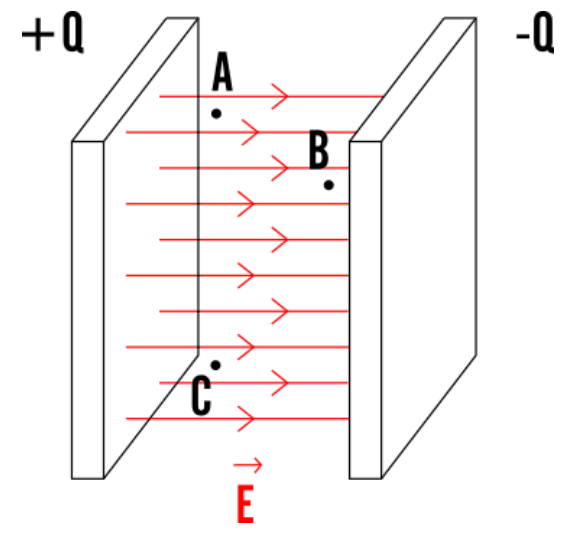
Bilancia di torsione

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$



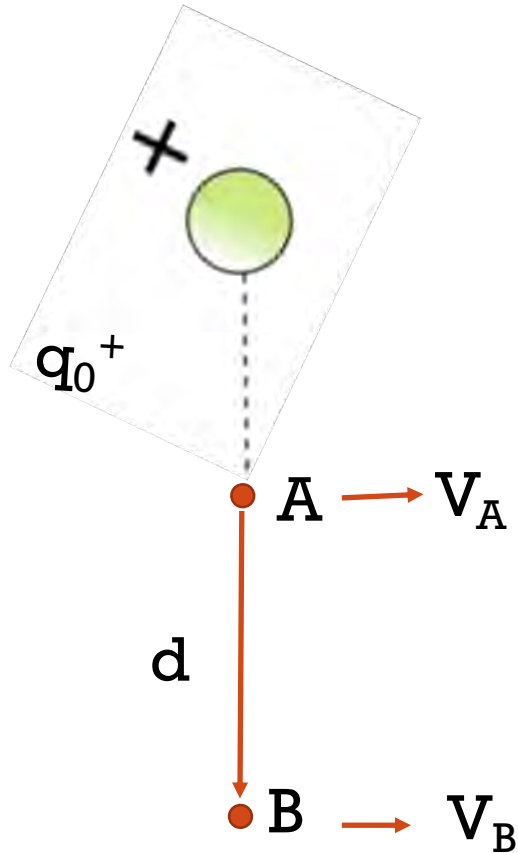
Campo elettrico con carica di prova positiva.

$$E \equiv \frac{F}{q_0}$$



# Il campo elettrico e il potenziale

$$\vec{F} = q_0 \vec{E}$$



$$L = \vec{F} \cdot \vec{s} = U_A - U_b$$

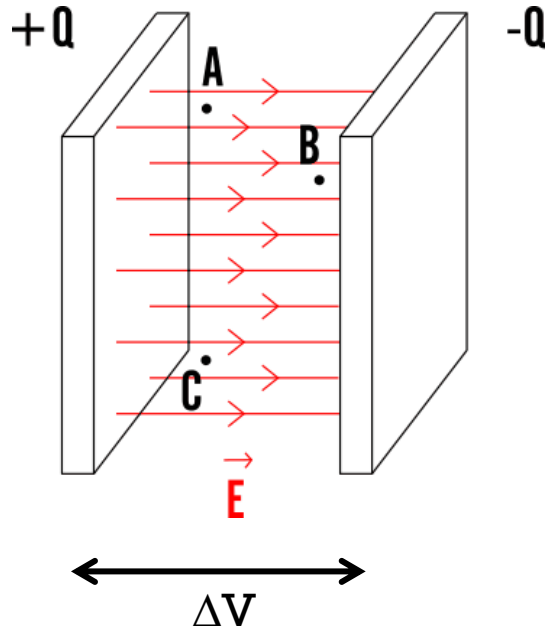
Posso definire il potenziale in un punto come

$$V = \frac{U}{q_0} \quad \longrightarrow \quad L = q_0(V_A - V_B)$$

$$\longrightarrow \quad q_0 E d = q_0(V_A - V_b)$$

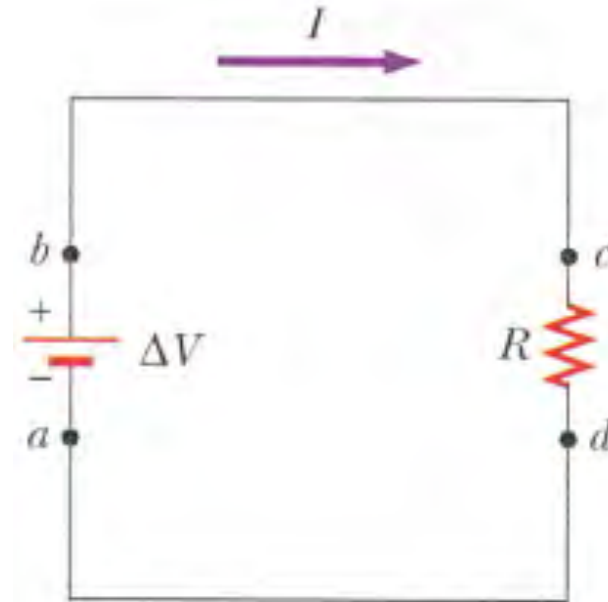
$$\longrightarrow \quad E = \frac{(V_A - V_b)}{d}$$

# Il campo elettrico e il potenziale



$$E = \frac{\Delta V}{\Delta x}$$

$$\Delta V = \frac{Q}{C}$$

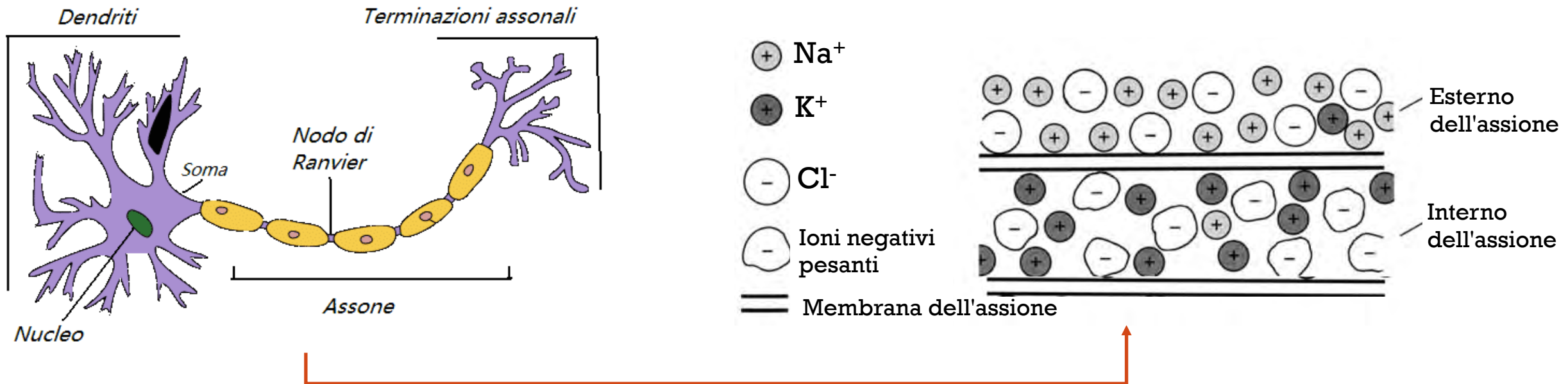


$$V = IR$$

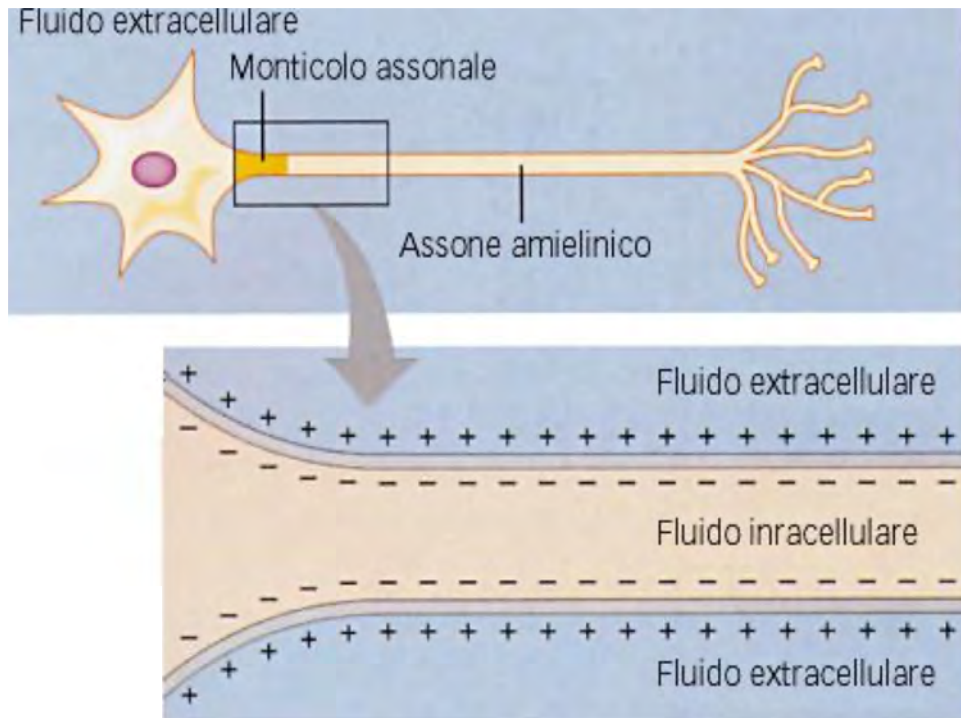


# Il cuore elettrico

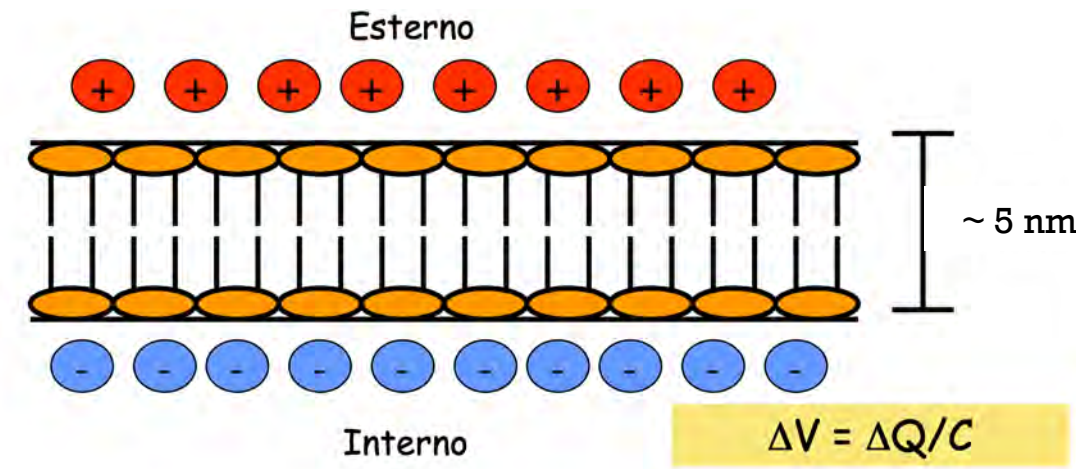
Le contrazioni muscolari sono governate da segnali elettrici che si propagano come nei neuroni



# Propagazione del segnale elettrico



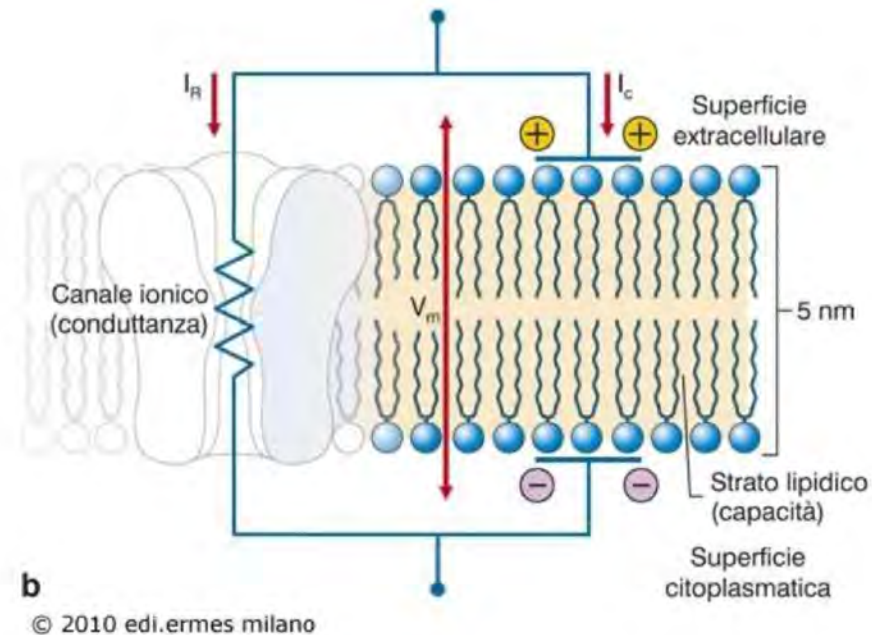
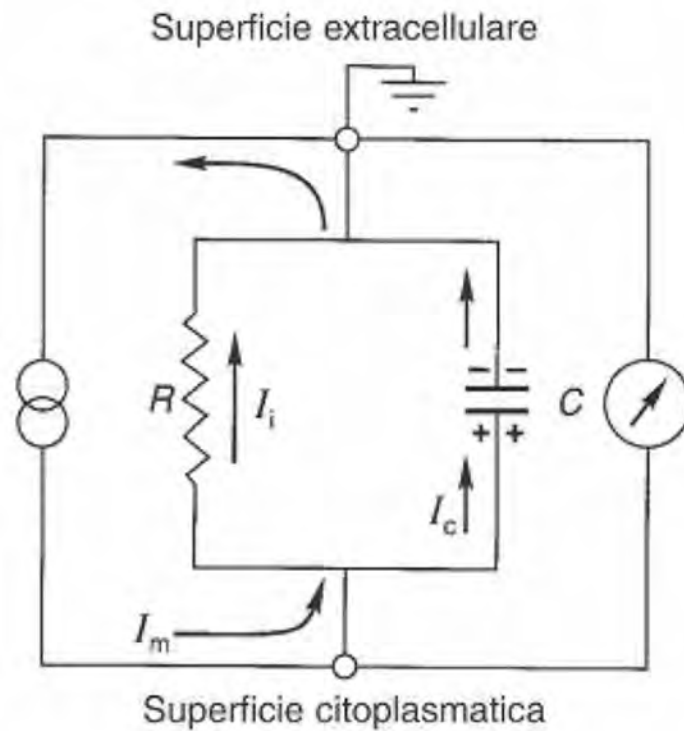
$\Delta V \sim -70 \text{ mV}$



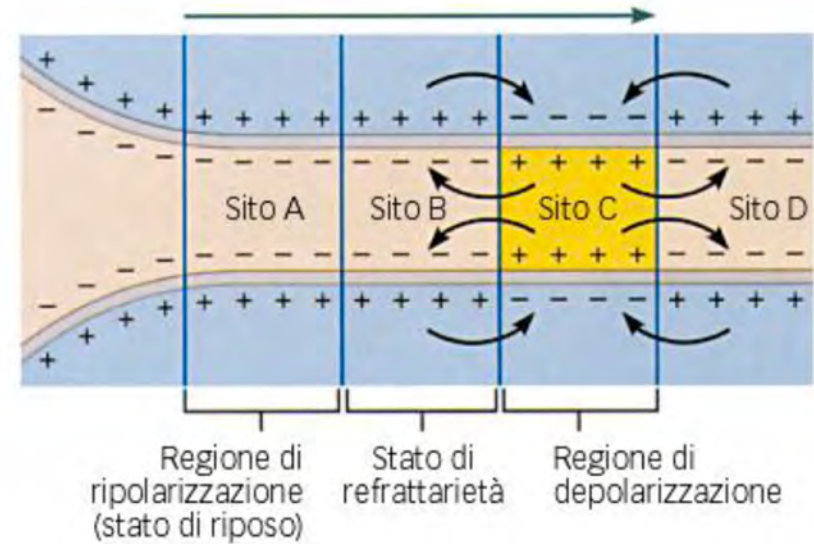
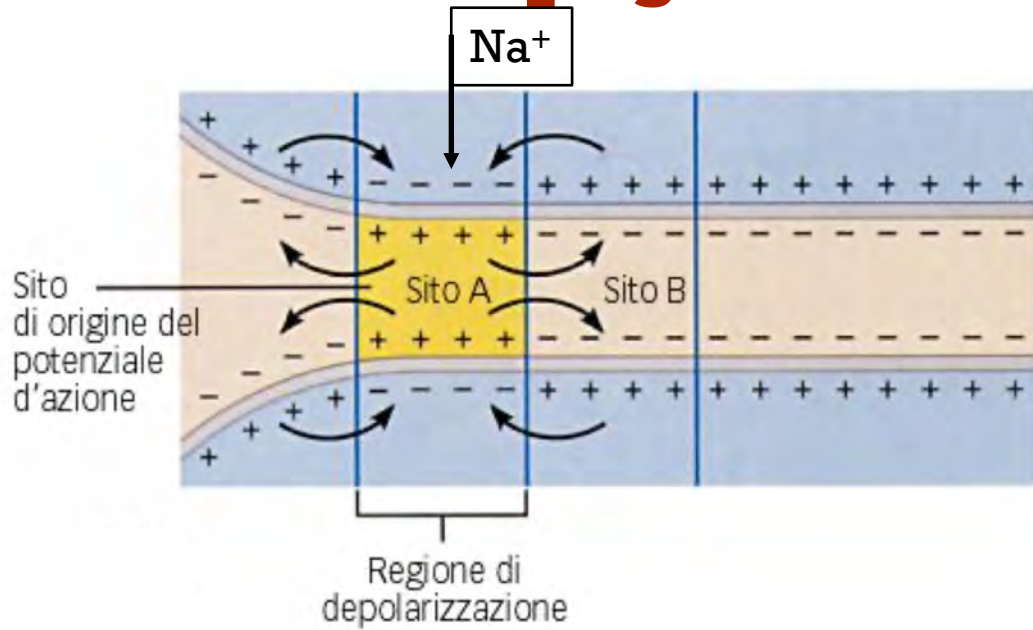
A riposo

# Il cuore elettrico

La membrana cellulare può essere descritta come un circuito elettrico dotato di **resistenza** e **capacità**

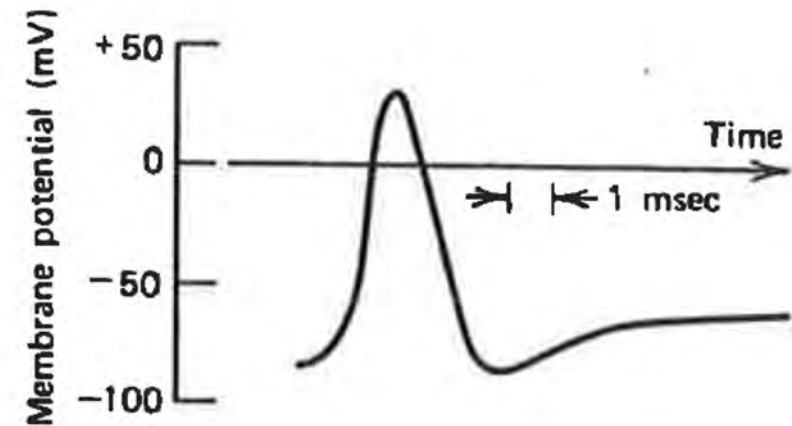
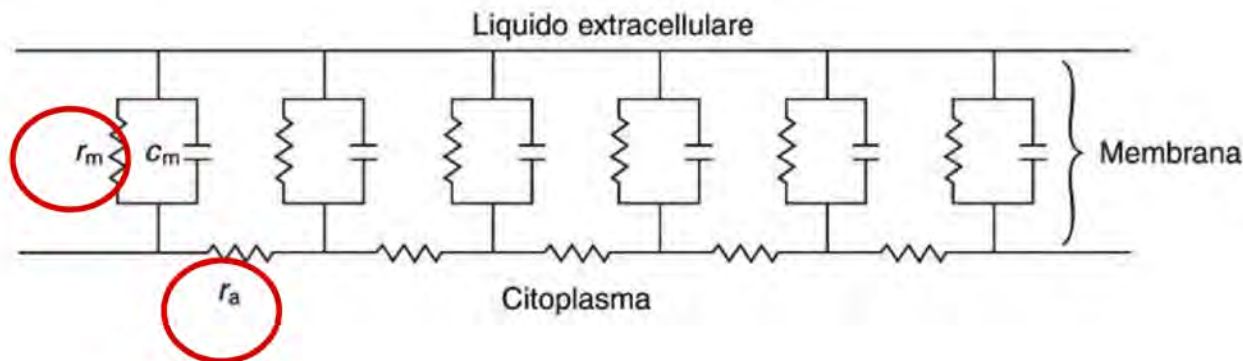


# Propagazione del segnale elettrico

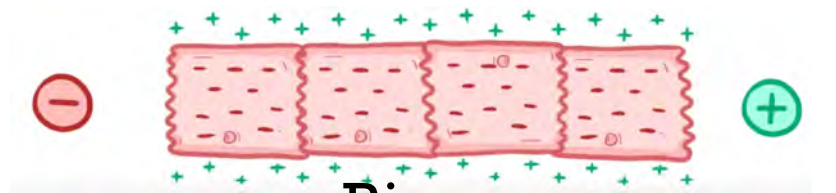
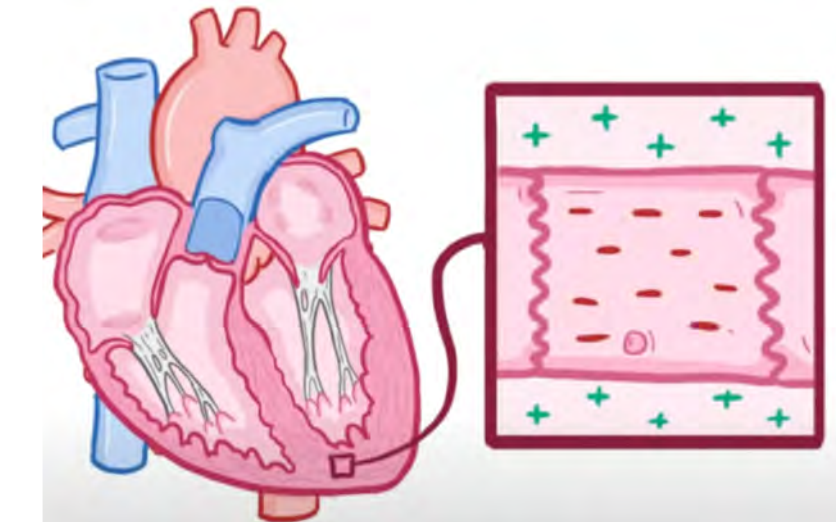


## Propagazione

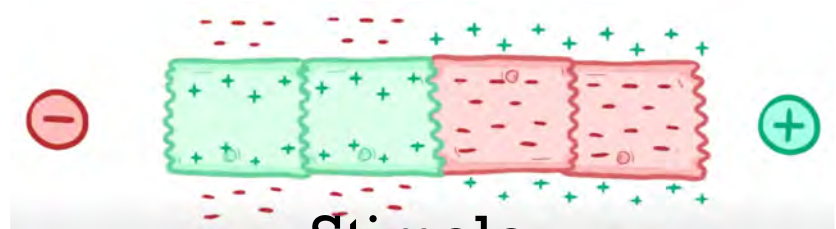
## Dopo uno stimolo



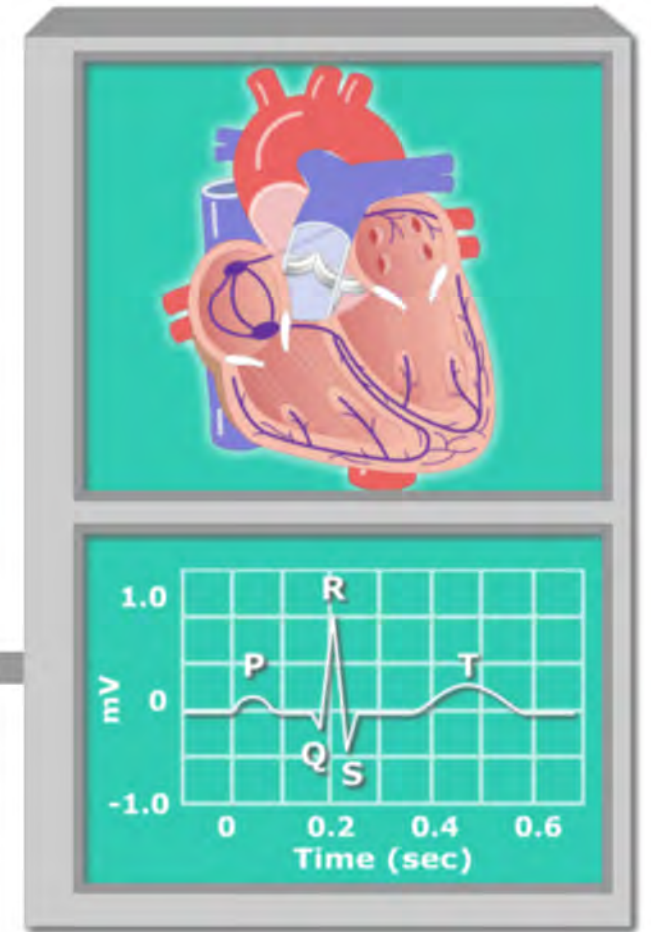
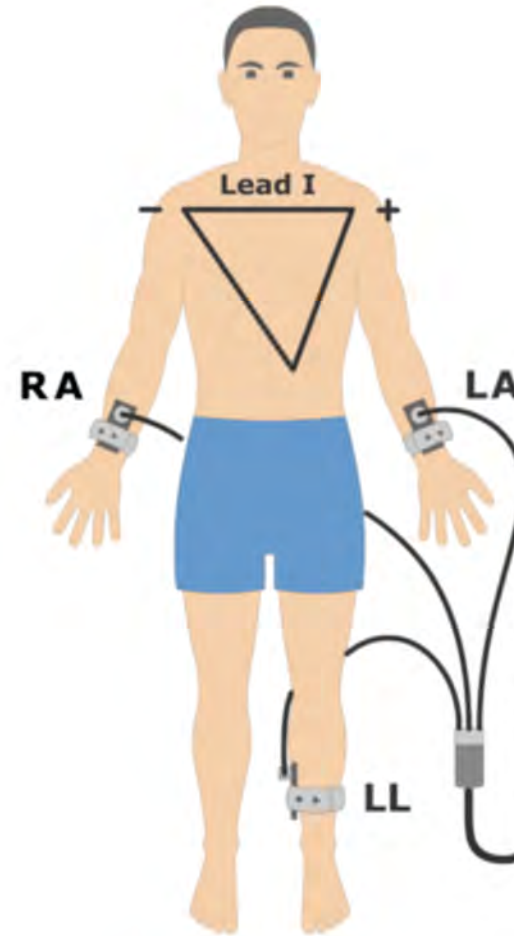
# L'elettrocardiogramma



Riposo



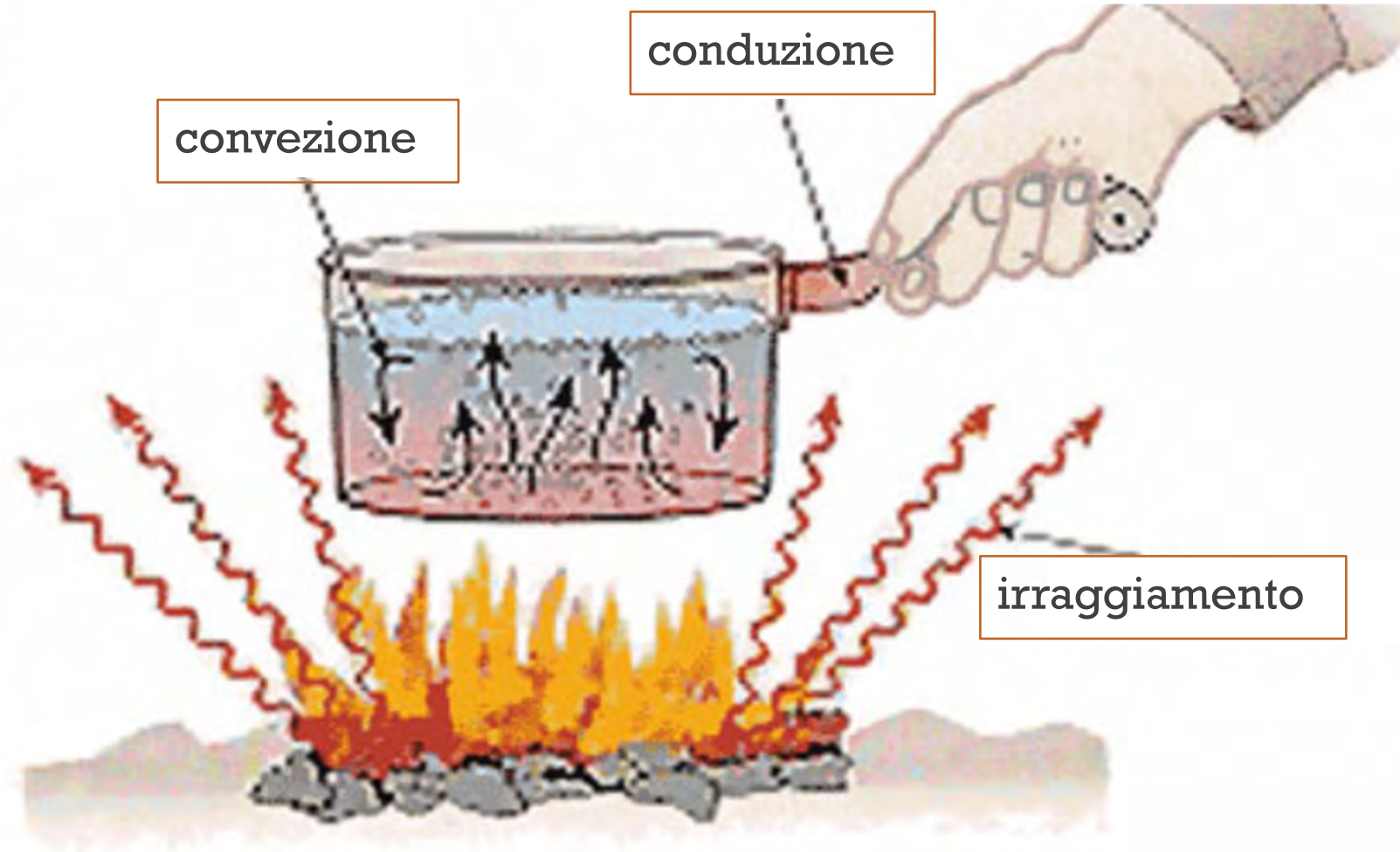
Stimolo



# Il pacemaker



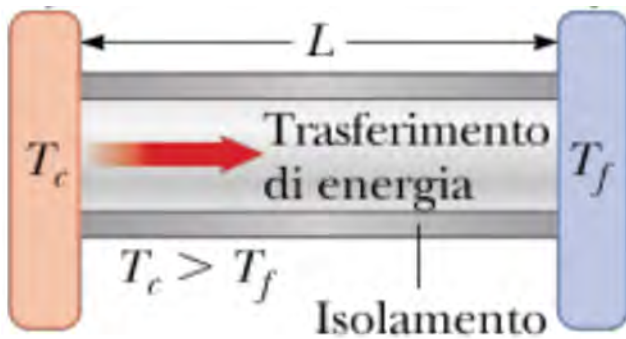
# Termoregolazione – I principio della termodinamica – Circolazione del sangue



# Trasferimento dell'energia termica

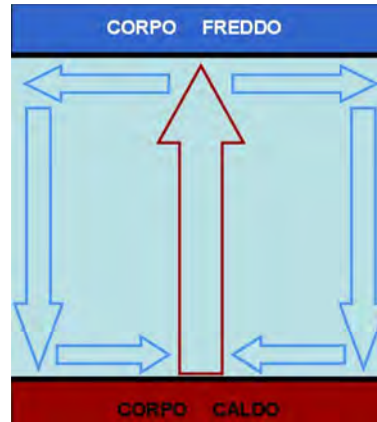
Velocità di trasferimento dell'energia termica

## ➤ Conduzione



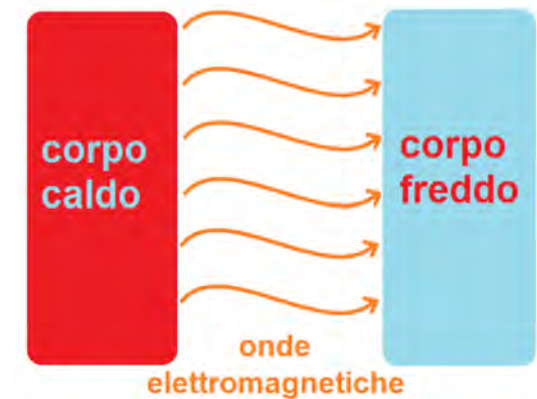
$$P = kA \frac{T_c - T_f}{L}$$

## ➤ Convezione



$$P = K_{conv} S \Delta T$$

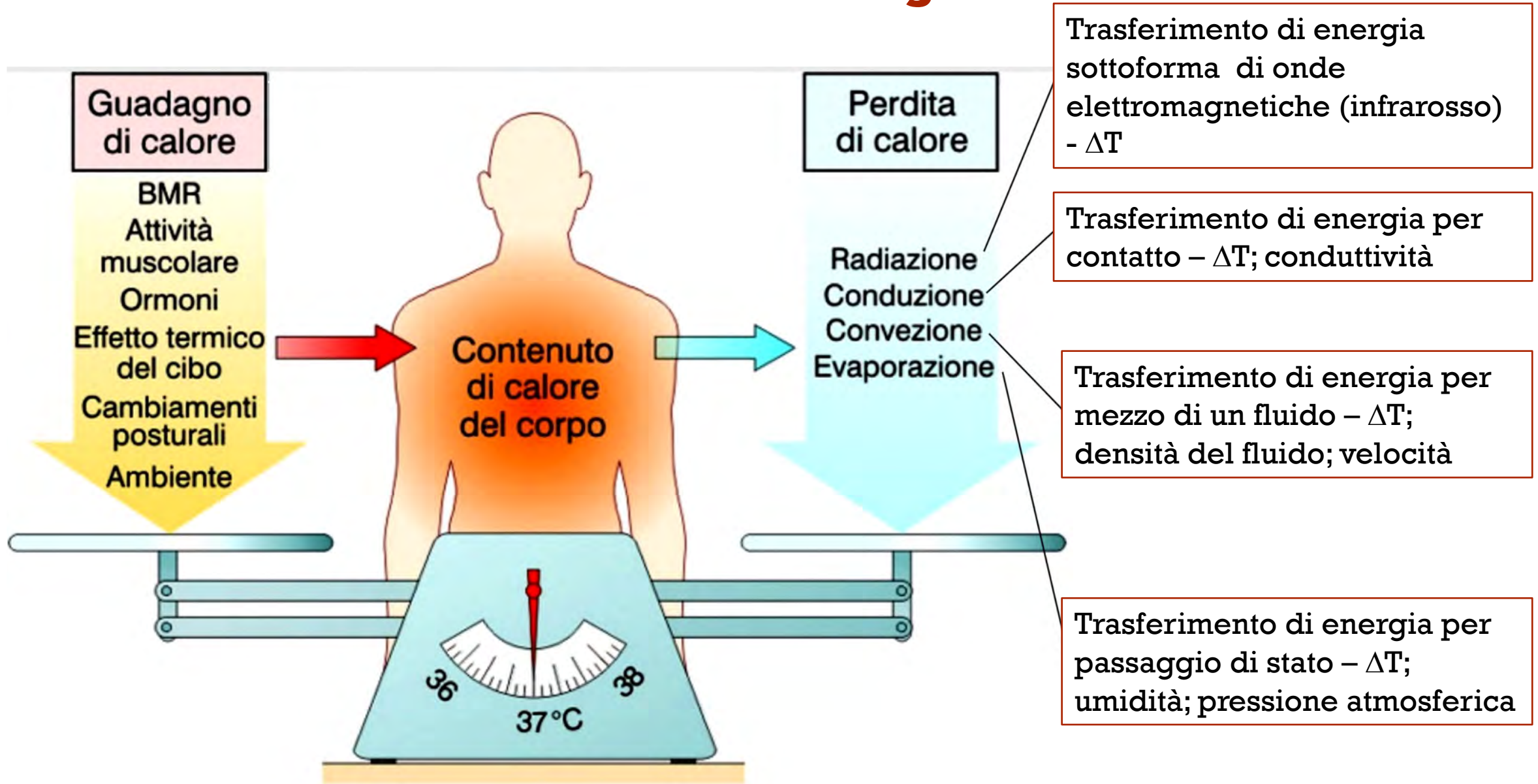
## ➤ Irraggiamento



$$P = \sigma A e T^4$$



# Trasferimento dell'energia termica



# Conservazione dell'energia

## I principio della termodinamica

$$C_T \cdot \Delta T = (M - L) - (Q_{c,res} + Q_{ev,res} + Q_c + Q_r + Q_k + Q_{ev})$$

**M** = energia da metabolismo

**L** = energia da lavoro meccanico



$Q_{c,res}$  = conduzione da respirazione

$Q_{ev,res}$  = evaporazione da respirazione

$Q_c$  = conduzione

$Q_r$  = irraggiamento

$Q_k$  = convezione

$Q_{ev}$  = evaporazione

**$\Delta T = 0!$**

# Termoregolazione



Ambiente esterno caldo

- Vasodilatazione
- Traspirazione



Ambiente esterno freddo

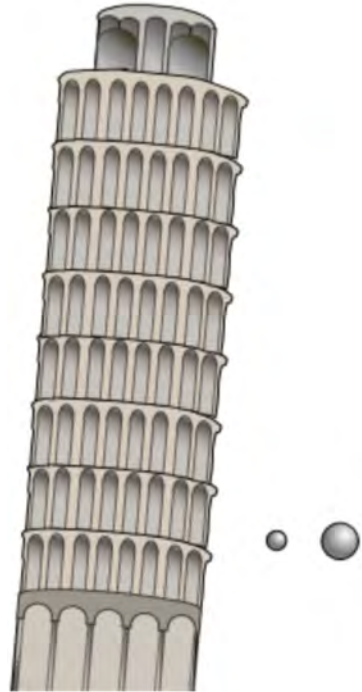
- Vasocostrizione
- Esercizio fisico
- Cibi ad alto contenuto di grassi

# "Acqua ferma"



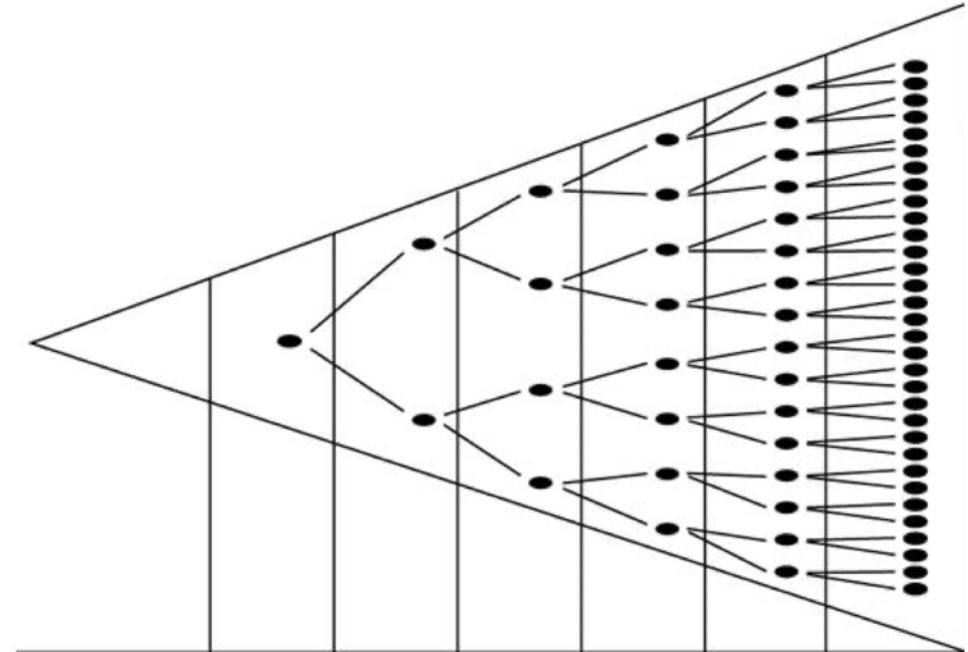
# Esercizio

## Caduta dei gravi



Tempo (s)	1	2	3	4	5
Velocità (m/s)	9.8	19.6	29.4	39.2	49

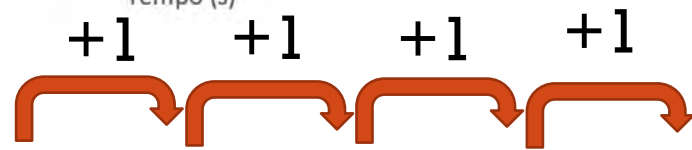
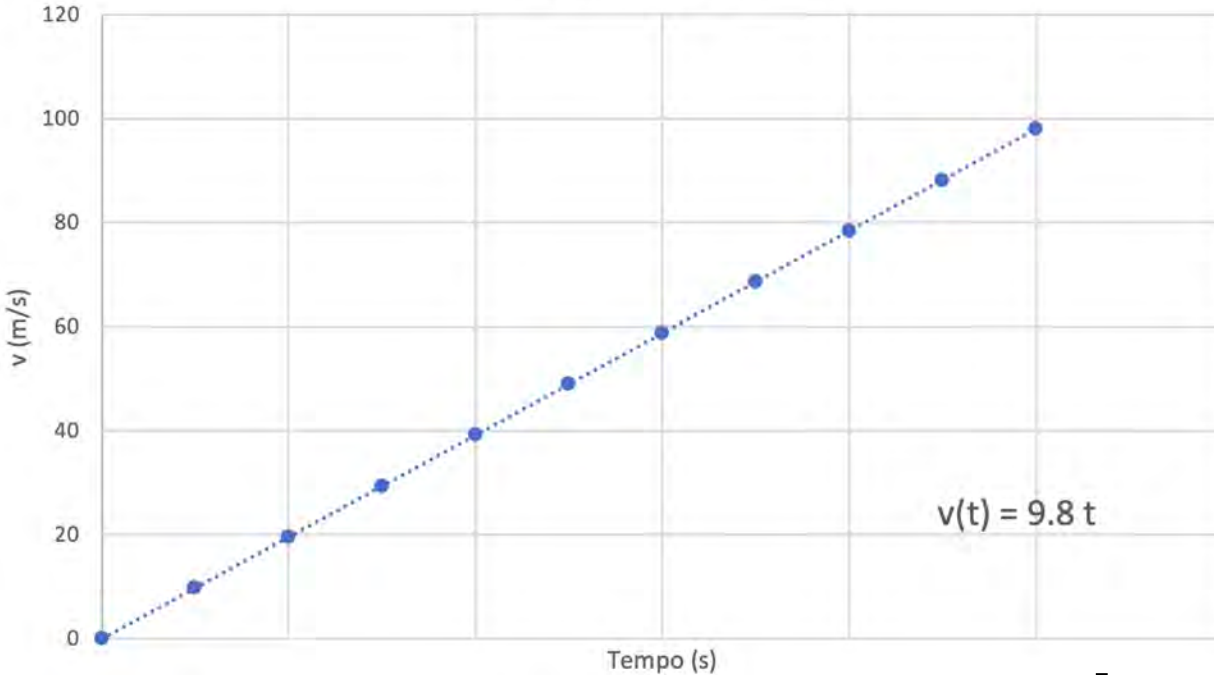
## Popolazione cellulare



Giorno	1	2	3	4	5
N. di cellule	1	2	4	16	32

# Esercizio

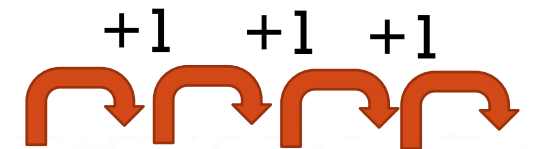
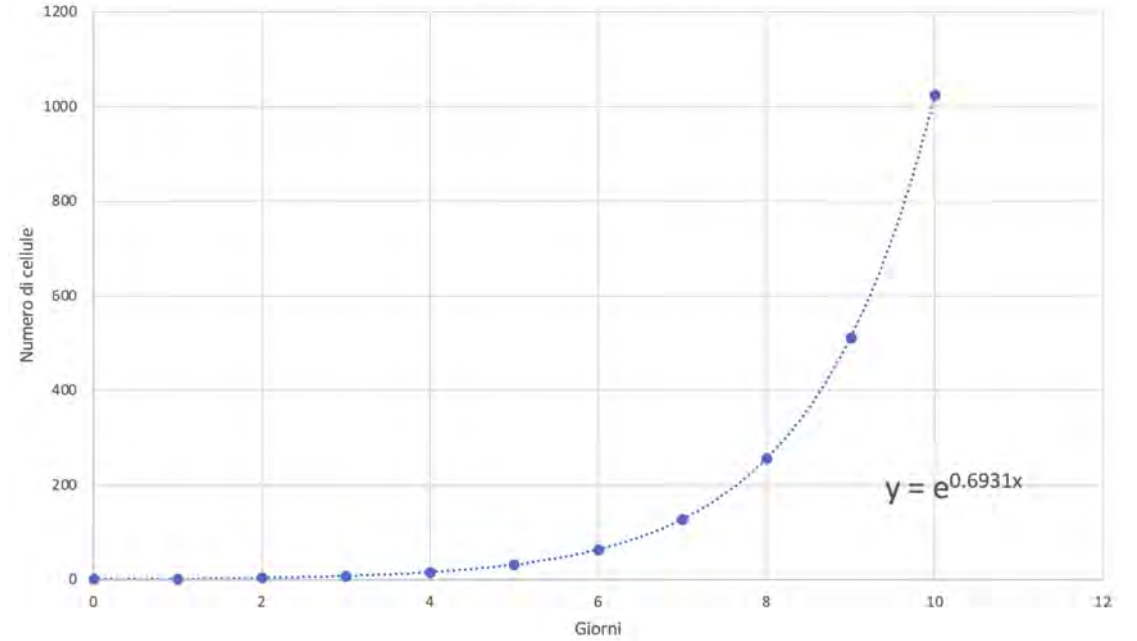
Caduta dei gravi



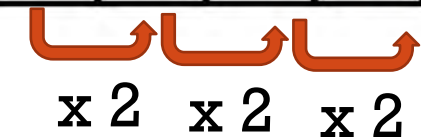
Tempo (s)	1	2	3	4	5
Velocità (m/s)	9.8	19.6	29.4	39.2	49



Crescita di una popolazione cellulare



Giorno	1	2	3	4	5
N. di cellule	1	2	4	16	32



# Esercizio

Cosa succede quando una persona in posizione eretta subisce un'accelerazione?

Bernoulli:

$$P_{cervello} + \rho(g + a)h_{cervello} = P_{cuore} + \rho(g + a)h_{cuore}$$



$$P_{cervello} = P_{cuore} - \rho(g + a)(h_{cervello} - h_{cuore})$$



La pressione al cervello risulta ulteriormente diminuita

Se  $a = (\sim 3) g$  si perde conoscenza per collasso delle arterie del cervello



# Esercizio

Radiazione termica del corpo umano: La temperatura della pelle è di circa  $35^{\circ}\text{C}$ . Qual è la potenza emessa dalla pelle?

Dobbiamo stimare la superficie della nostra pelle: supponiamo che il nostro corpo sia una scatola rettangolare alta 2 m, larga 0.3 m e profonda 0.2 m

$$\Rightarrow A = 2 \times (2 \times 0.3) + 2 \times (0.3 \times 0.2) + 2 \times (2 \times 0.2) \text{ m}^2 \approx 2 \text{ m}^2$$

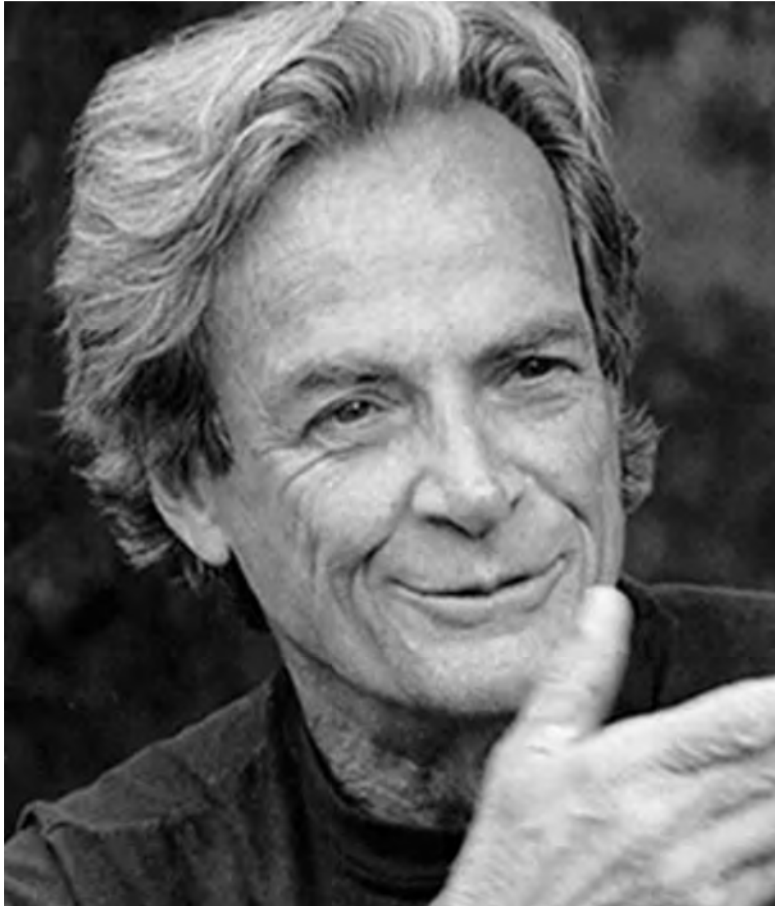
$$P = \sigma A e T^4$$

$$\Rightarrow P = (5,7 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4)(2 \text{ m}^2)(1)(308 \text{ K})^4 \approx 1000 \text{ W}$$

La potenza irradiata corrisponde a circa 10 lampadine di 100 W



# Feynman sulla conservazione dell'energia



Richard Feynman  
(1918 – 1988)

*"C'è un fatto, o se preferite una legge, che governa tutti i fenomeni naturali a oggi conosciuti. Non c'è nessuna eccezione a questa legge per quanto ne sappiamo. **La legge si chiama conservazione dell'energia.** Dice che c'è una certa quantità, che chiamiamo energia, che non cambia rispetto alle grandi mutazioni in cui va incontro la natura. È l'idea più astratta che ci sia, perché è un principio matematico; dice che c'è una quantità numerica che non cambia quando succede qualcosa. Non è la descrizione di un meccanismo, o qualcosa di concreto; è solo uno strano fatto per cui possiamo calcolare un numero e quando abbiamo finito di osservare la natura che fa le sue cose e abbiamo calcolato nuovamente il numero, questo è uguale a prima."*

