

# La Fisica in Medicina

L. Servoli

**Ingegneria**

**???**

**Matematica**

**Medicina**

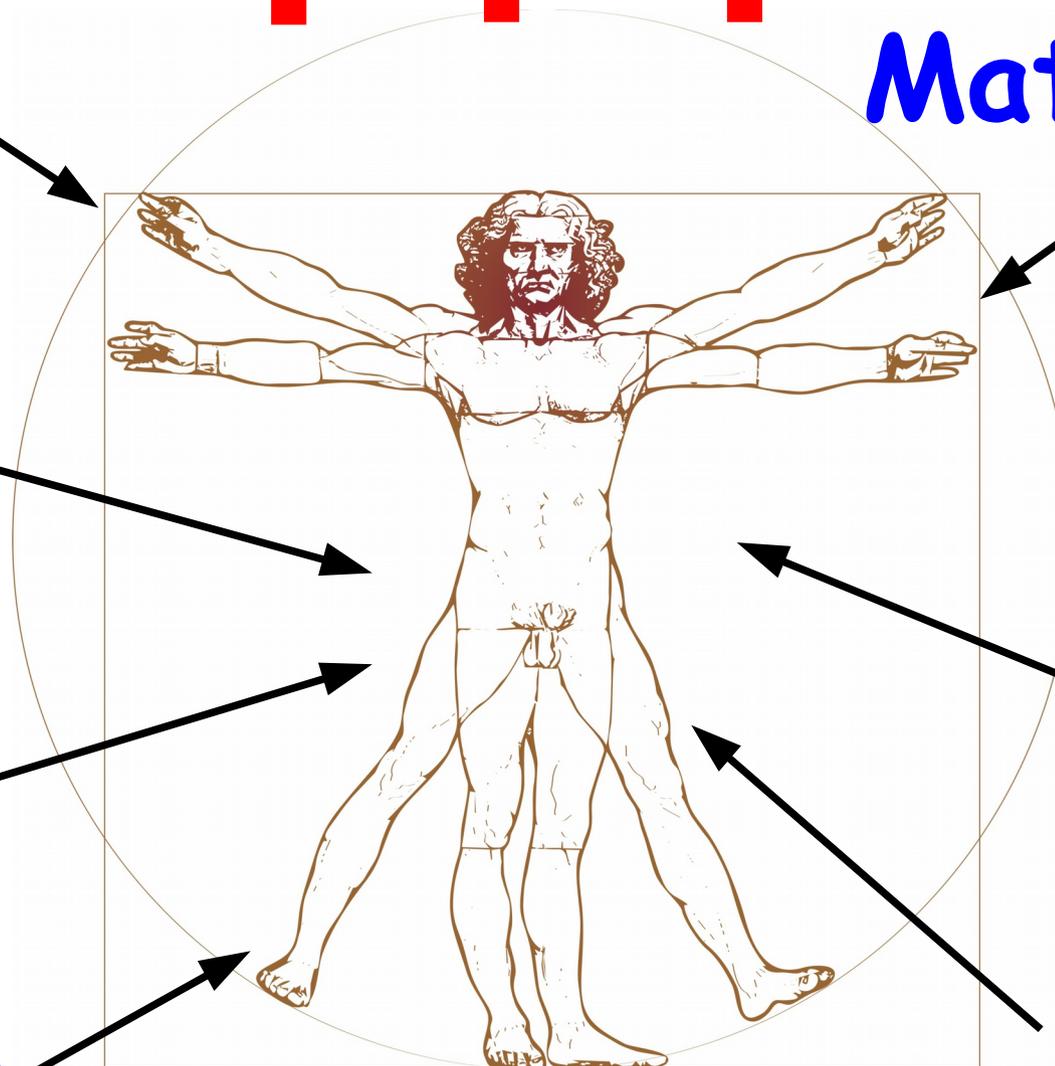
**Biologia**

**Genetica**

**Chimica**

**Fisica**

**Informatica**



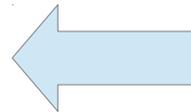
# La Fisica in Medicina

I fondamenti:

Interazione di un agente fisico con il corpo / i tessuti / le molecole del corpo umano.

Applicazioni:

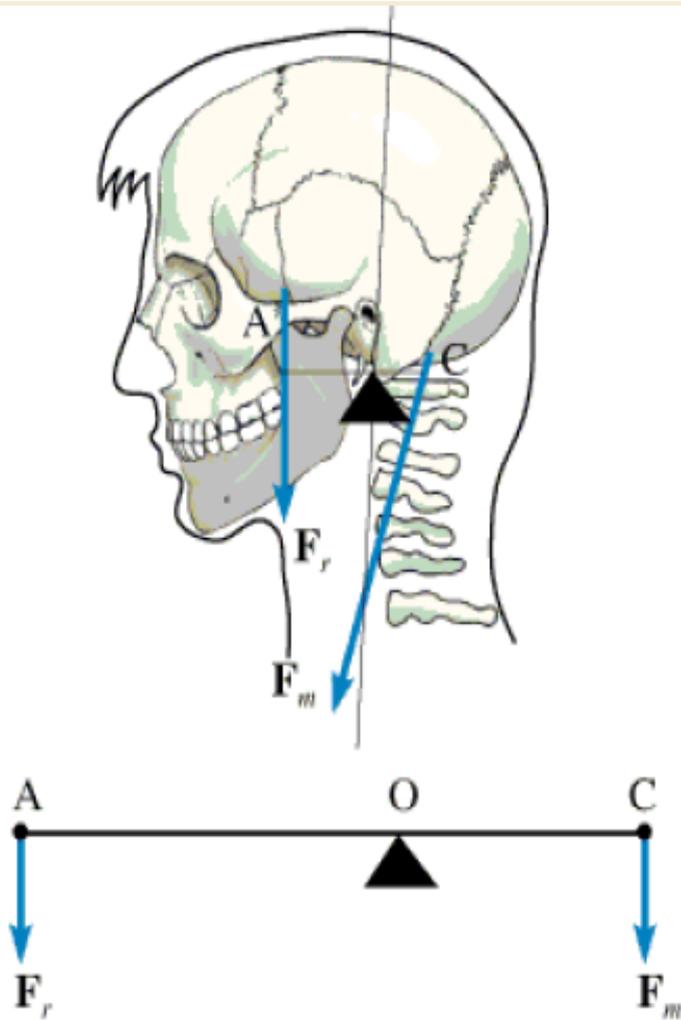
- Diagnostica;
- Terapia;
- Dosimetria;



Costruzione Modelli  
→ Comprensione

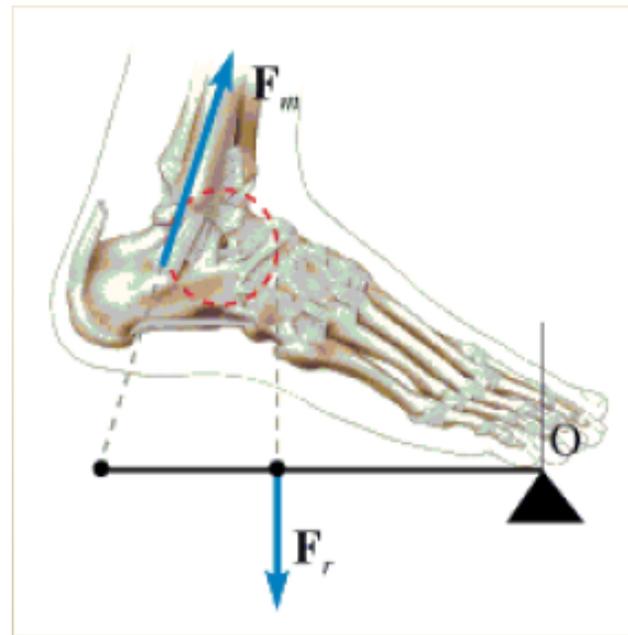
# Le leve nel corpo umano

## Leva 1° tipo



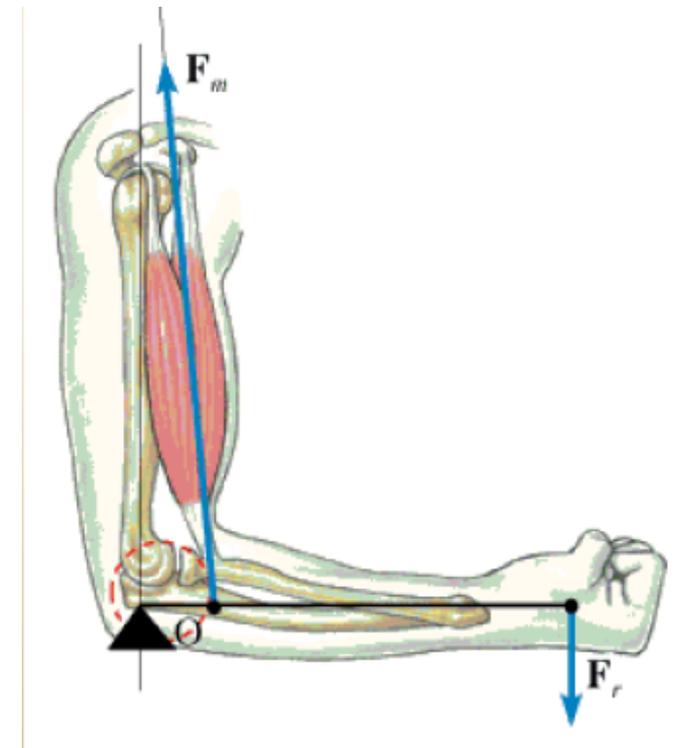
L. Servoli

## Leva 2° tipo



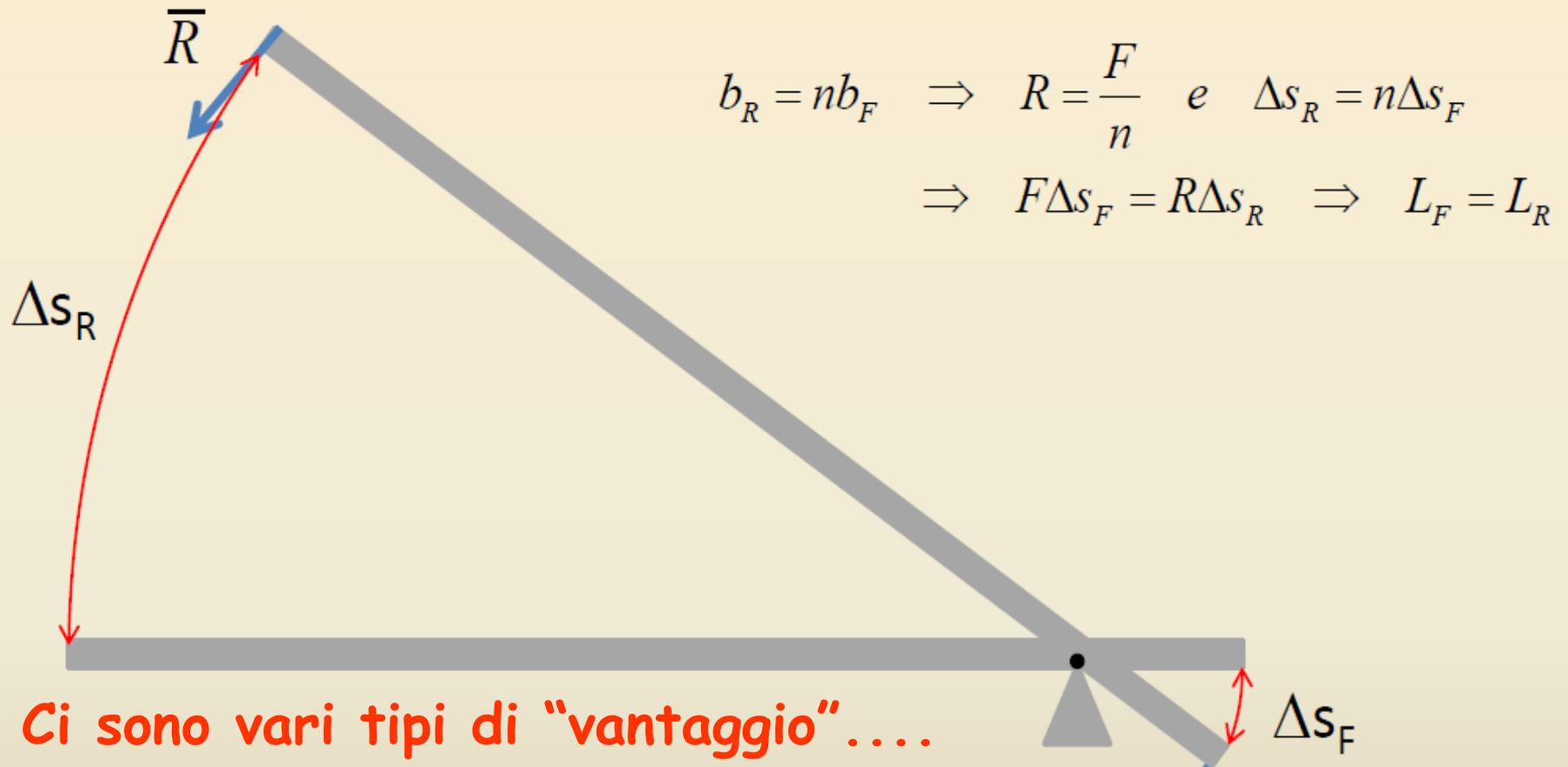
La Fisica in Medicina

## Leva 3° tipo

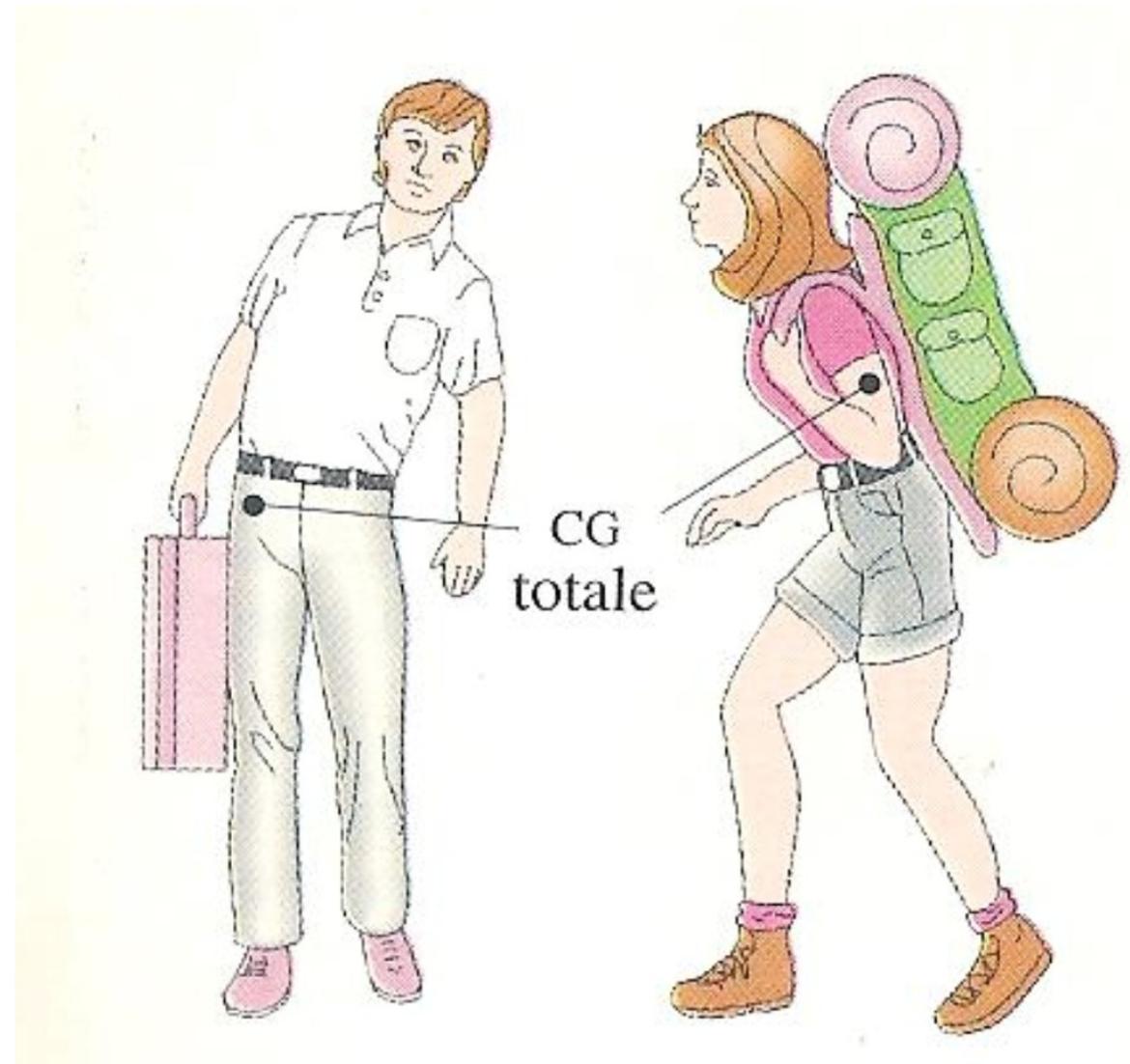
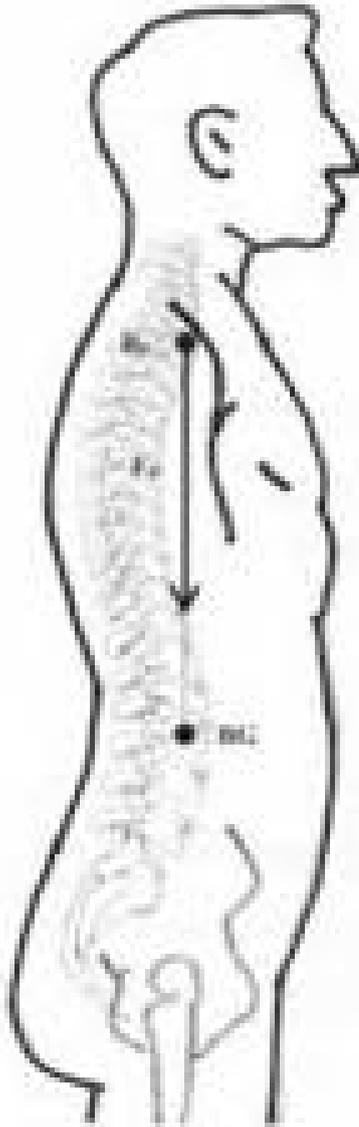


# Le leve nel corpo umano

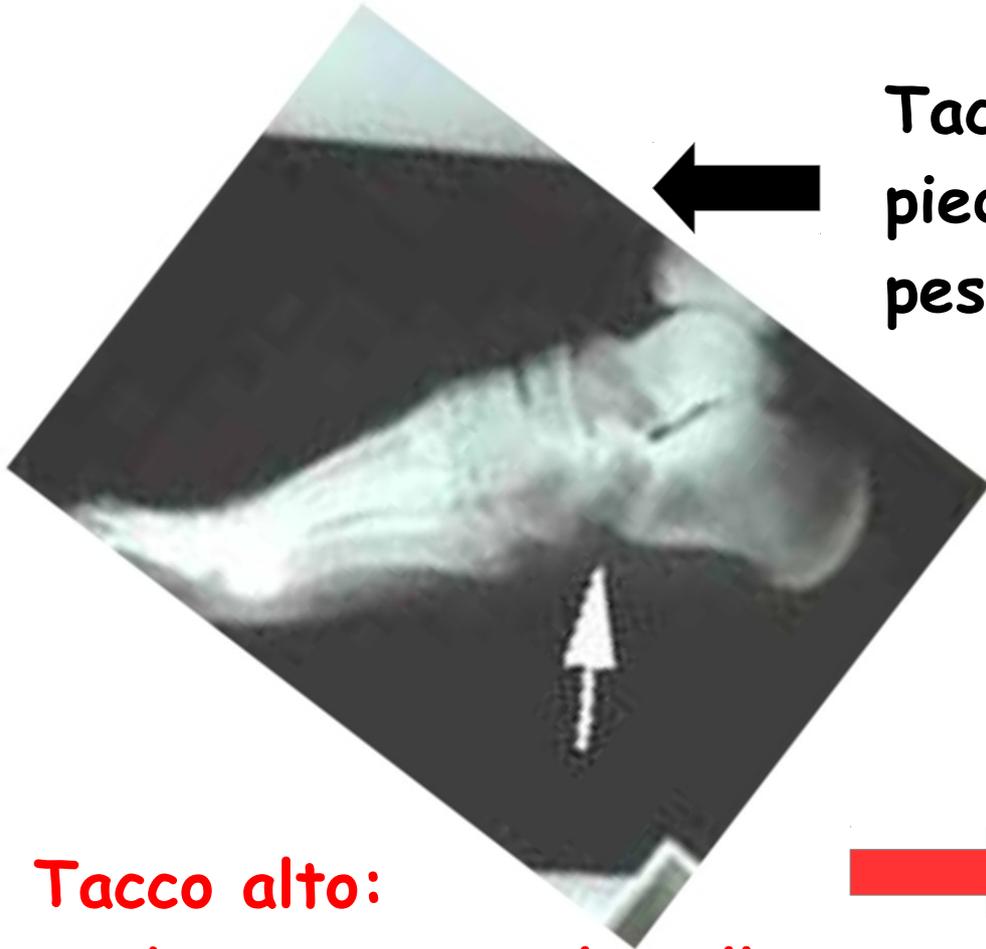
Vantaggiose? Svantaggiose? O che altro.....



# L'equilibrio: la postura



# L'equilibrio: i tacchi alti...

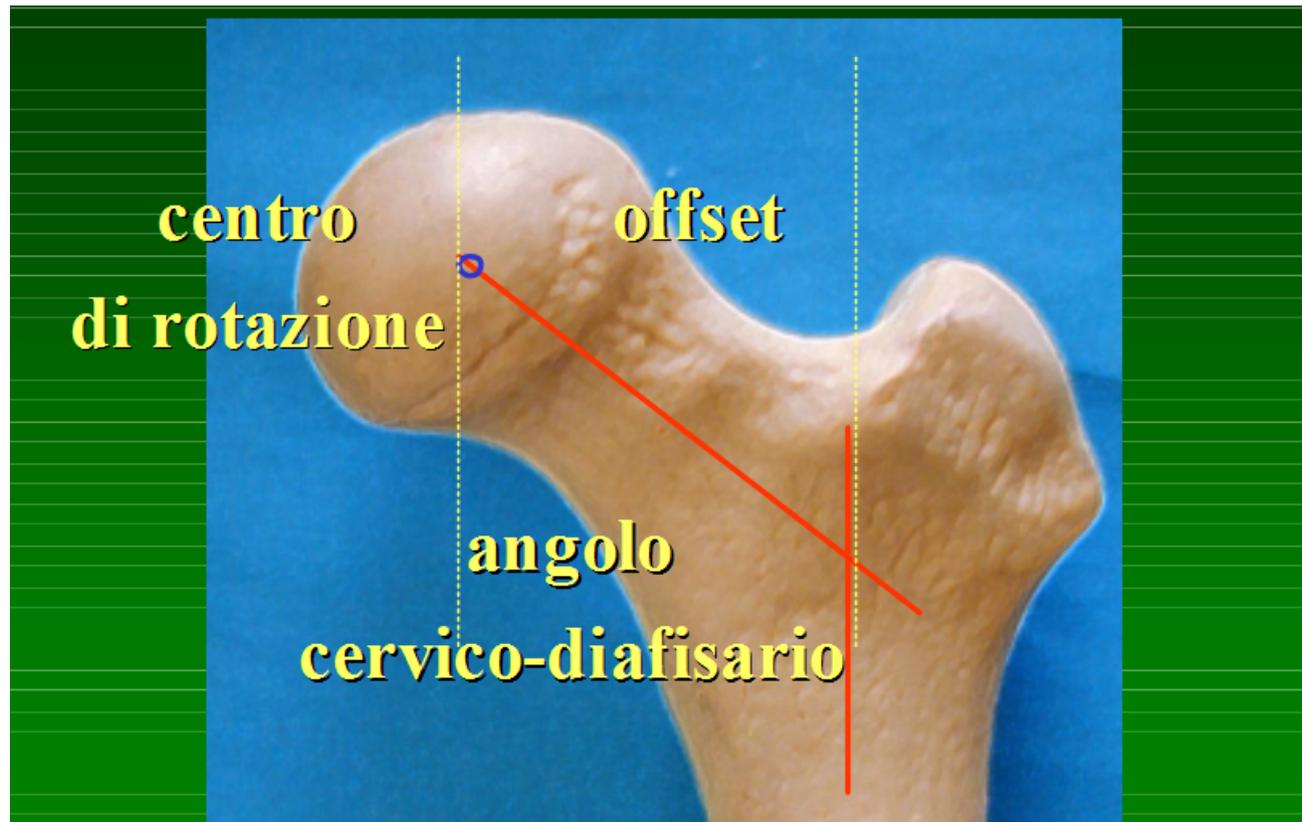


Tacco basso:  
piede appoggia regolarmente,  
peso distribuito su tutta la pianta

Tacco alto:  
piede appoggia solo sulla punta,  
peso distribuito solo su piccola  
parte del piede; articolazione  
sotto sforzo.



# Protesi Biomeccaniche: Anca



→ *Forma*

→ *Materiale biocompatibile*

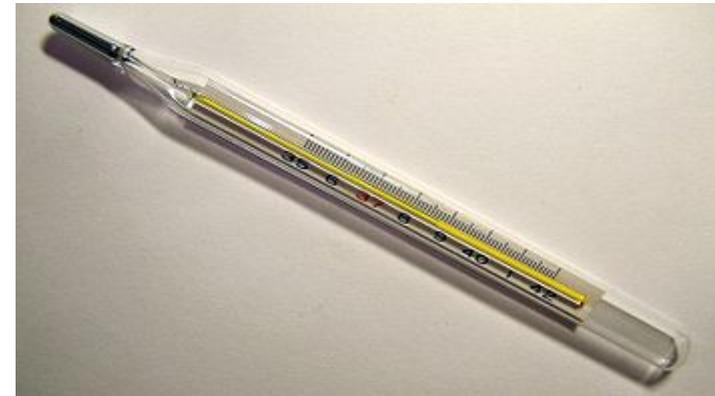
# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

*Termometro a mercurio*

Diagnostica (Non imaging):

→ **Termometro**

(Temperatura)

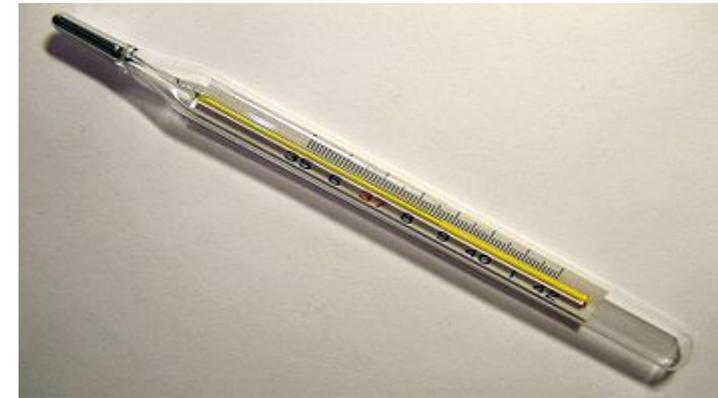


# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Diagnostica (Non imaging):

*Termometro a mercurio*

→ **Termometro** (Temperatura)

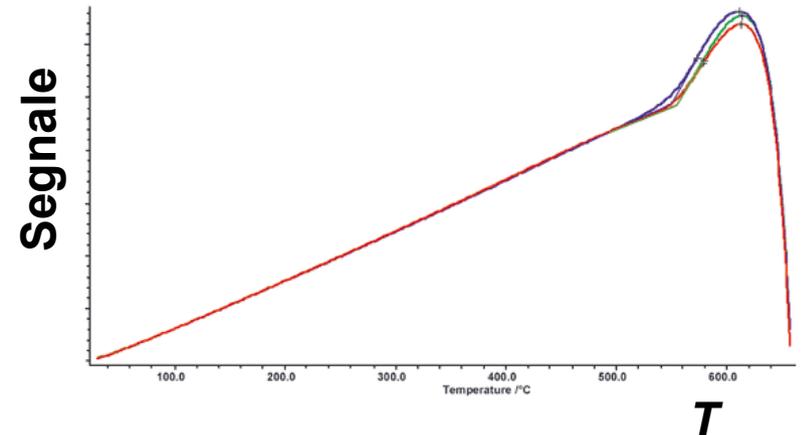


*Termometro da orecchio*



Grandezza fisica → Trasduttore → Segnale elettrico

*Taratura del dispositivo* →



# Termodinamica

Da dove viene l'energia necessaria al funzionamento del corpo umano?

Lavoisier misurò il consumo di **ossigeno** e l'emissione di **anidride carbonica** di un uomo, mentre riposava, mentre lavorava e mentre mangiava.

**Prima ipotesi di connessione tra mondo dei viventi e mondo non-vivente.**



**Nel 1793 è arrestato, condannato a morte e ghigliottinato l'8 Maggio 1794 malgrado gli appelli di tutto il mondo scientifico.**

**Il giudice che lo condannò affermò:**

***“La République n'a pas besoin de savants!”***

# TERMOREGOLAZIONE

---

I meccanismi di termoregolazione possono favorire la cessione del calore (vasodilatazione, sudorazione, ...), ridurre (vasocostrizione) o produrre calore (brivido, ...).

L'equilibrio si raggiunge quando:  $H_m = H_c + H_i + H_t + H_e$

$H_m$ : calore prodotto dal metabolismo

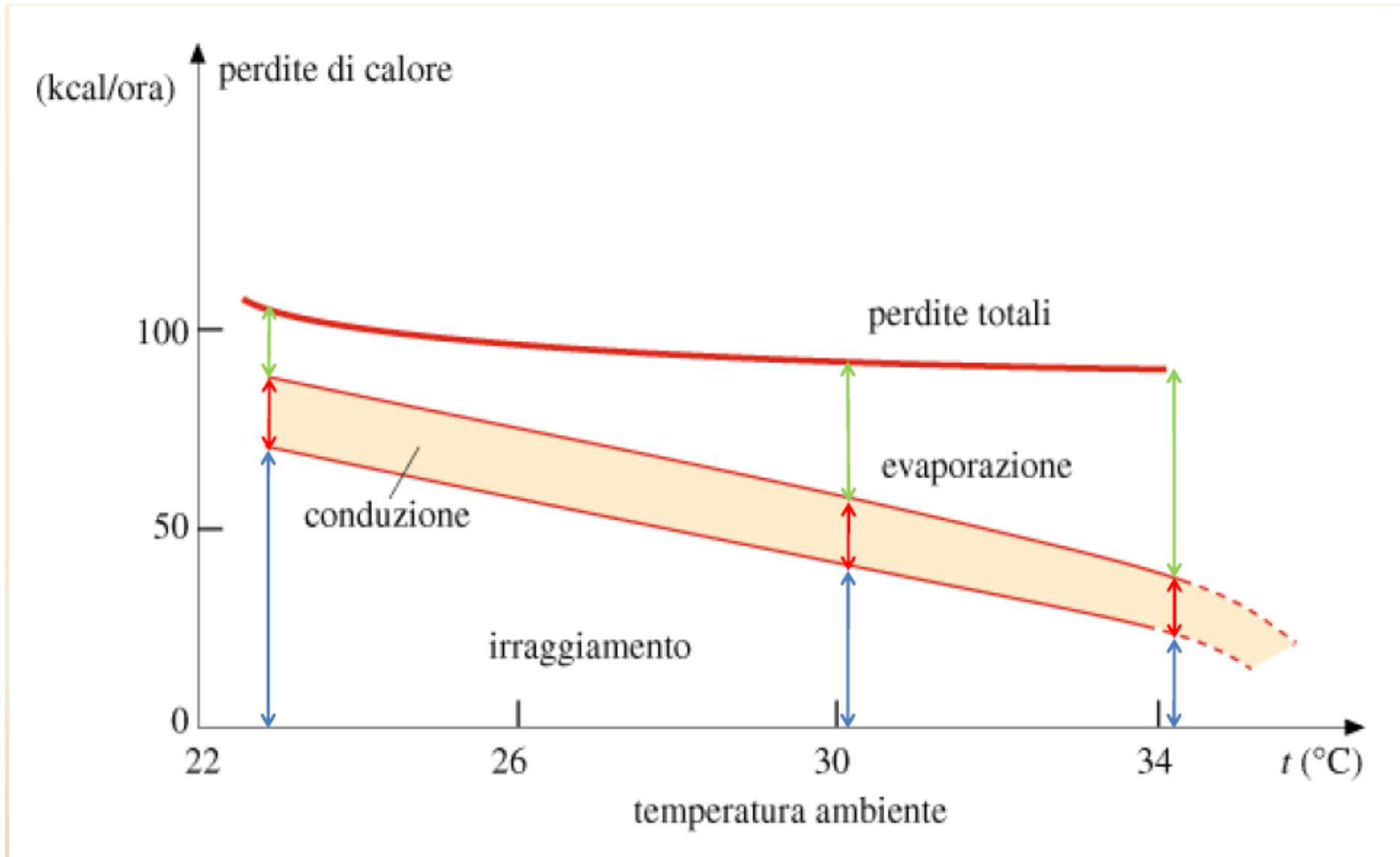
$H_c$ : calore dissipato per convezione

$H_i$ : calore dissipato per irraggiamento

$H_t$ : calore dissipato per traspirazione del sudore

$H_e$ : calore dissipato per evaporazione polmonare

# Termoregolazione del corpo umano



# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Diagnostica (Non imaging):

→ Termometro

→ **Sfigmomanometro**

(Temperatura)

(Pressione)



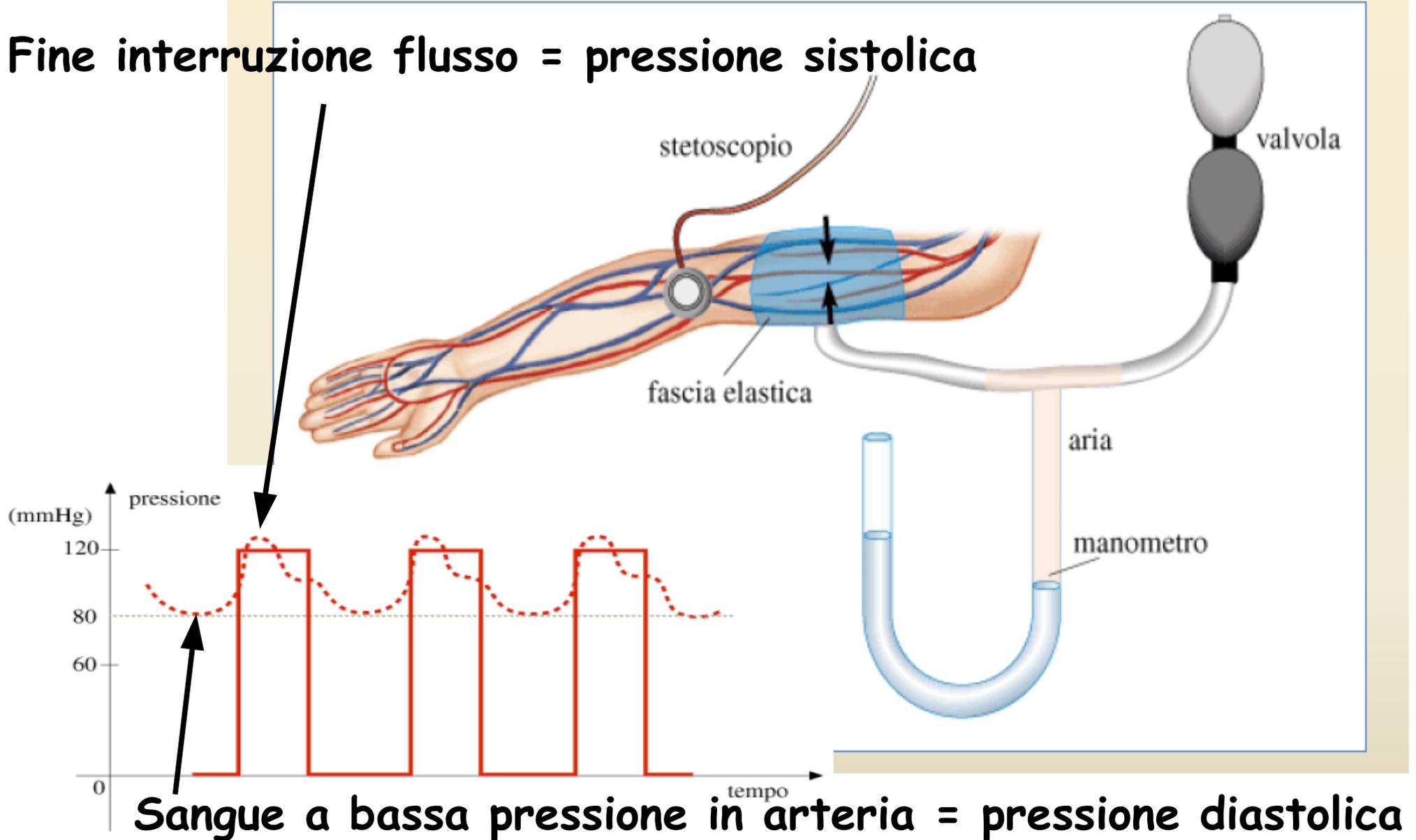
**Modello Elettronico**



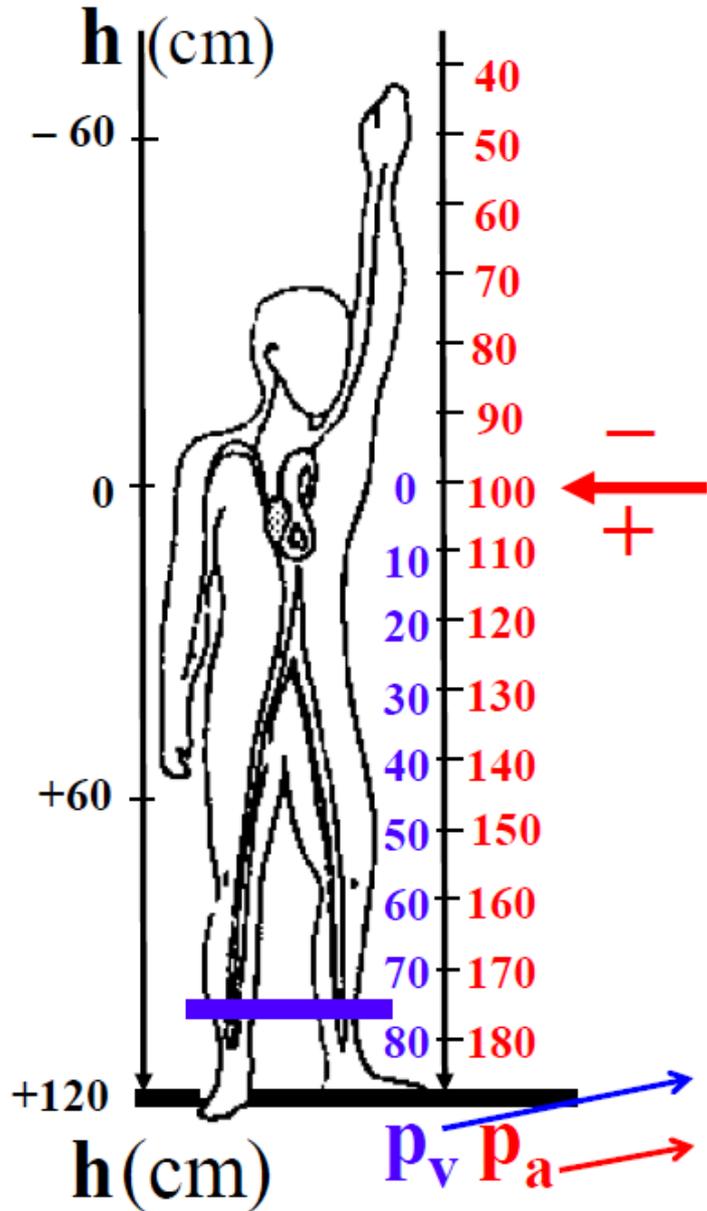
**Modello Analogico**

# Misura della pressione del sangue

**Fine interruzione flusso = pressione sistolica**



# LEGGE DI STEVINO: effetti fisiologici



**posizione eretta**

$$p = p_{\text{sangue}} + dgh$$

$$h(\text{cuore}) = 0$$

- ritorno venoso
- circolazione cerebrale

**posizione orizzontale**

$$p = p_{\text{sangue}}$$

pressione venosa

pressione arteriosa

# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Diagnostica (Non imaging):

- Termometro
- Sfigmomanometro

→ **Elettrocardiografo**



(Elettrocardiogramma)



Informazione complessa,  
molto maggiore di un solo  
numero

# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Diagnostica (Non imaging):

- Termometro
- Sfigmomanometro
- Elettrocardiografo
- **Pulsiossimetro**



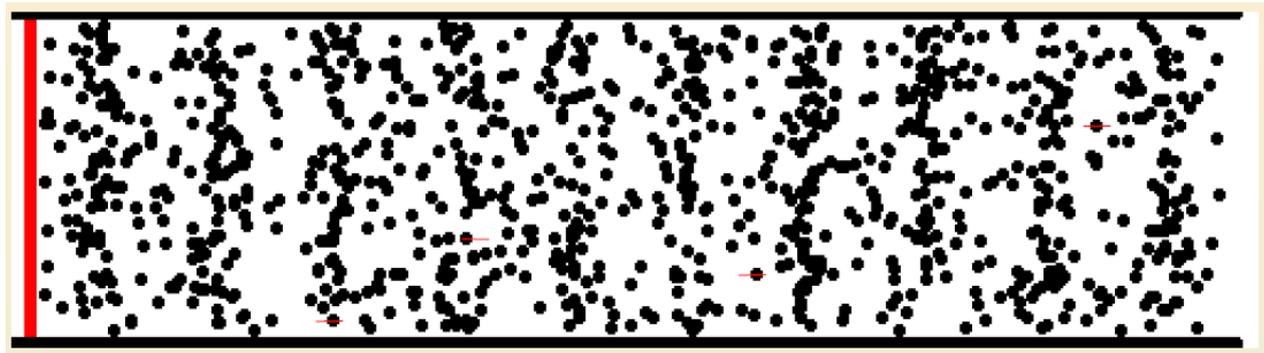
(Concentrazione ossigeno nel sangue)

Usa luce nel campo del **rosso** e dell'**infrarosso** e misura la luce assorbita o riflessa per ricavare il livello di ossigeno.

Tecniche non invasive e risposta in tempo reale

# Onde sonore: acustica

Un'onda sonora è la vibrazione elastica delle particelle di un mezzo che si muovono di moto armonico attorno alla posizione di equilibrio.



**Onde longitudinali (compressione e rarefazione).**

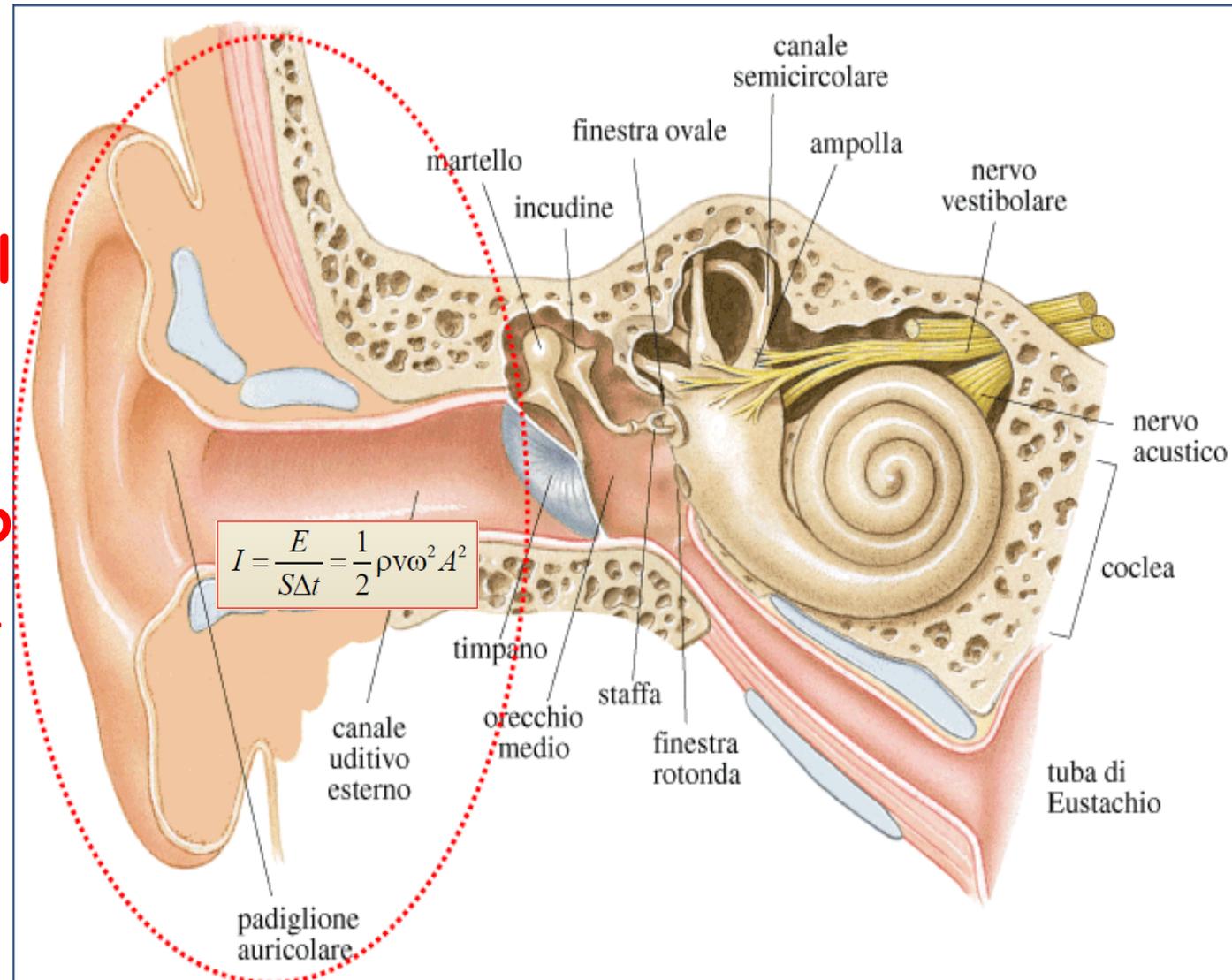
L'energia trasportata (o intensità) è legata alle caratteristiche dell'onda, quali frequenza, velocità, ampiezza.

$$I = \frac{E}{S\Delta t} = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 A^2$$

# Apparato uditivo: orecchio esterno

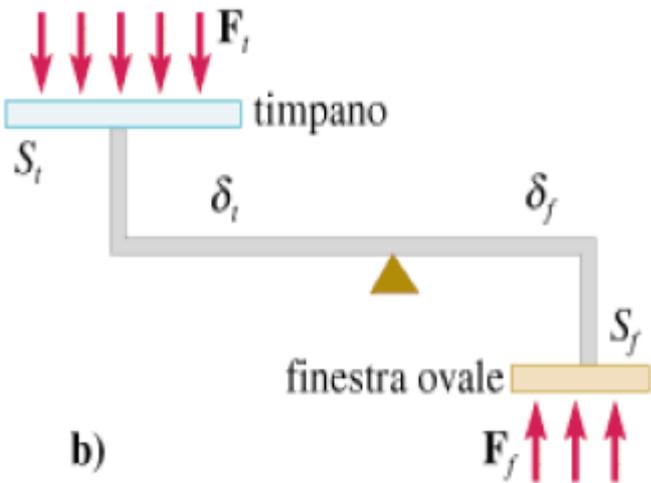
Serve a convogliare l'energia sonora sul timpano.

Il condotto uditivo è un tubo risonante.



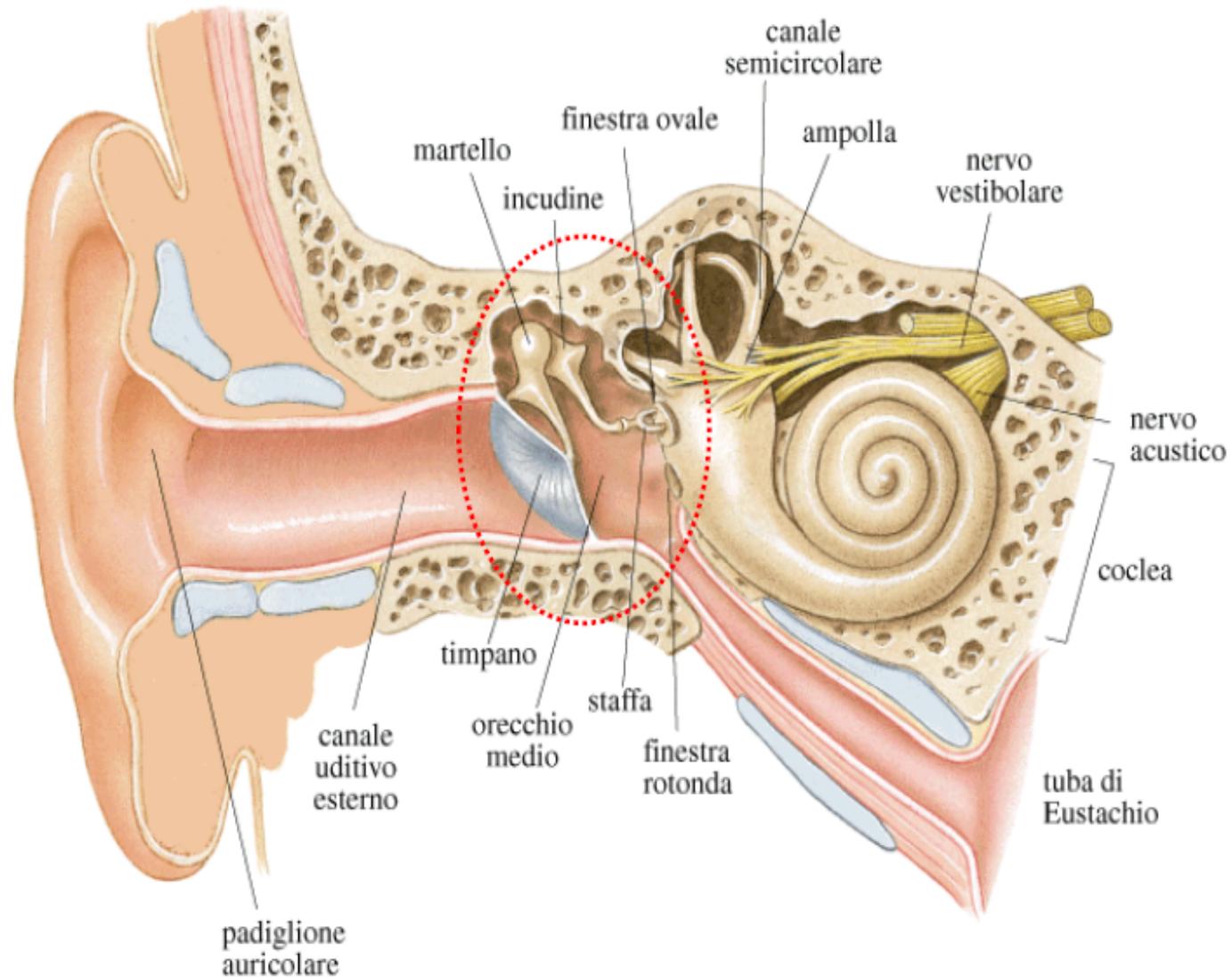
# Apparato uditivo: orecchio medio

**Trasduttore:**  
**aria-liquido**



**Amplificatore:**

$$\frac{F_f}{F_t} = \frac{d_t}{d_f} = 3$$



# Apparato uditivo: orecchio interno

*Area timpano = 20 volte  
Area finestra ovale;*

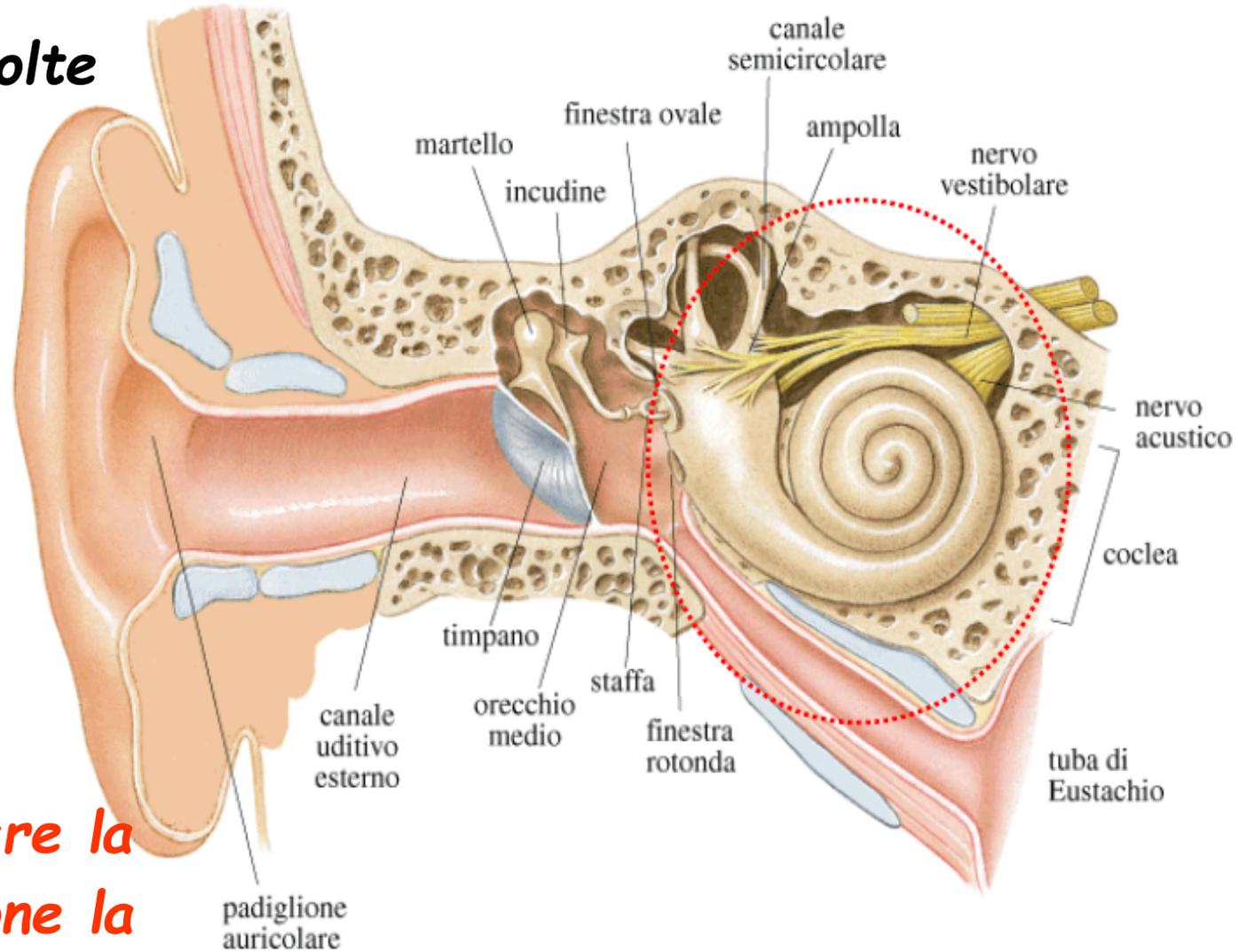
*Amplificatore:*

$$\frac{\Delta p_f}{\Delta p_t} = \frac{F_f S_t}{S_f F_t} = \frac{F_f S_t}{F_t S_f} = 3 \cdot 20 = 60$$

*Perchè?*

*Perchè per minimizzare la perdita di informazione la intensità dell'onda non deve variare tra aria e liquido cocleare.*

**→ rapporto tra le ampiezze ~ 60 .**

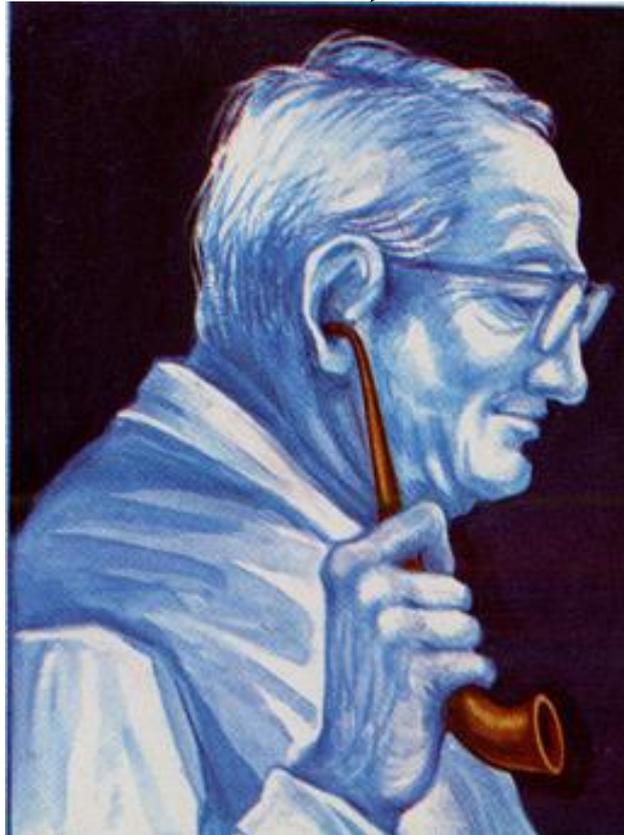


# Protesi acustiche

Ricezione

Amplificazione

Trasduzione



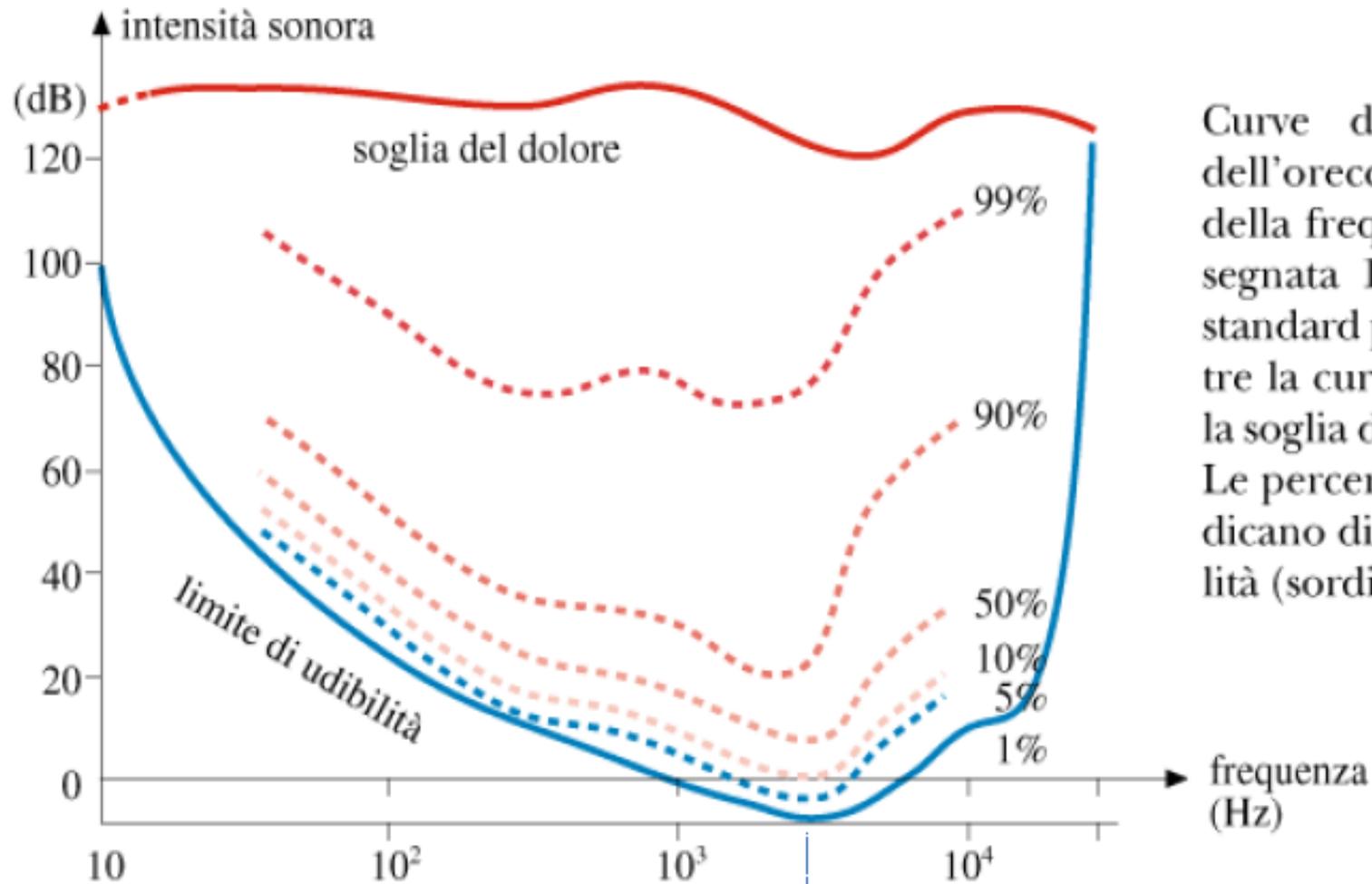
L. Servoli



La Fisica in Medicina



# Onde sonore: sensibilità orecchio

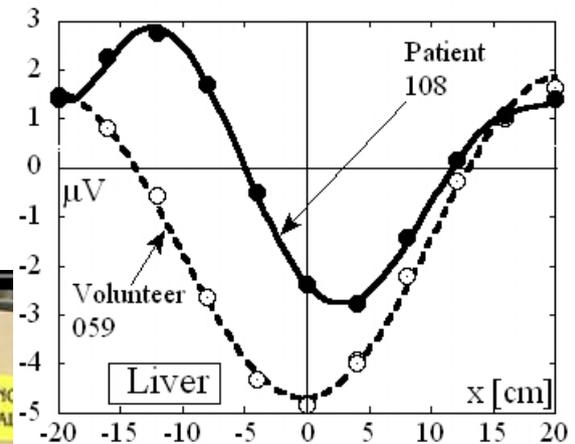
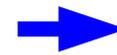
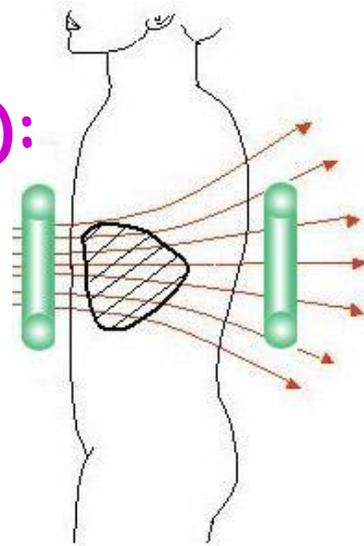


Curve di sensibilità al suono dell'orecchio umano in funzione della frequenza. La curva contrassegnata 1% rappresenta la curva standard per l'udito ottimale, mentre la curva superiore rappresenta la soglia della sensazione dolorosa. Le percentuali sulle altre curve indicano diversi stadi di non sensibilità (sordità).

# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

## Diagnostica (Non imaging):

- Termometro
- Sfigmomanometro
- Elettrocardiografo
- Pulsiossimetro
- **Misure di concentrazione di ioni ferro nel fegato**  
(diagnosi talassemia)



# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina



## Diagnostica (Imaging):

- a raggi X (singola immagine - bidimensionale);
- tomografia computerizzata (ricostruzione tridimensionale)
- imaging da isotopi interni al corpo umano (SPECT, PET)
- risonanza magnetica
- ultrasuoni (ecografie)

**Prima radiografia della storia:  
la mano della moglie di Roentgen**

# Radiografia bidimensionale

L'immagine del corpo da studiare viene realizzata **misurando l'attenuazione di un fascio di raggi X o  $\gamma$**  che lo attraversa.

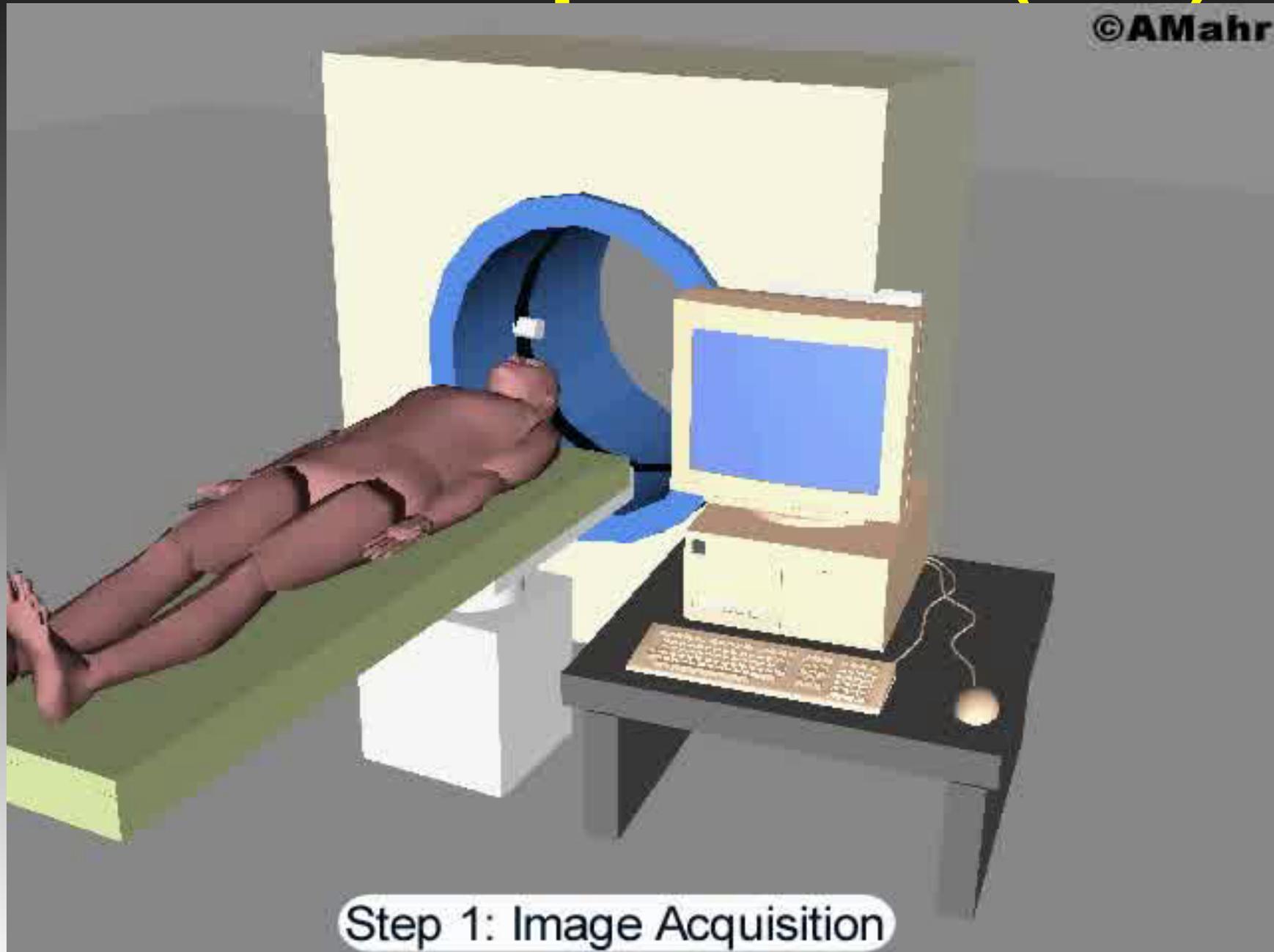


**Prima radiografia della storia:  
la mano della moglie di Roentgen**

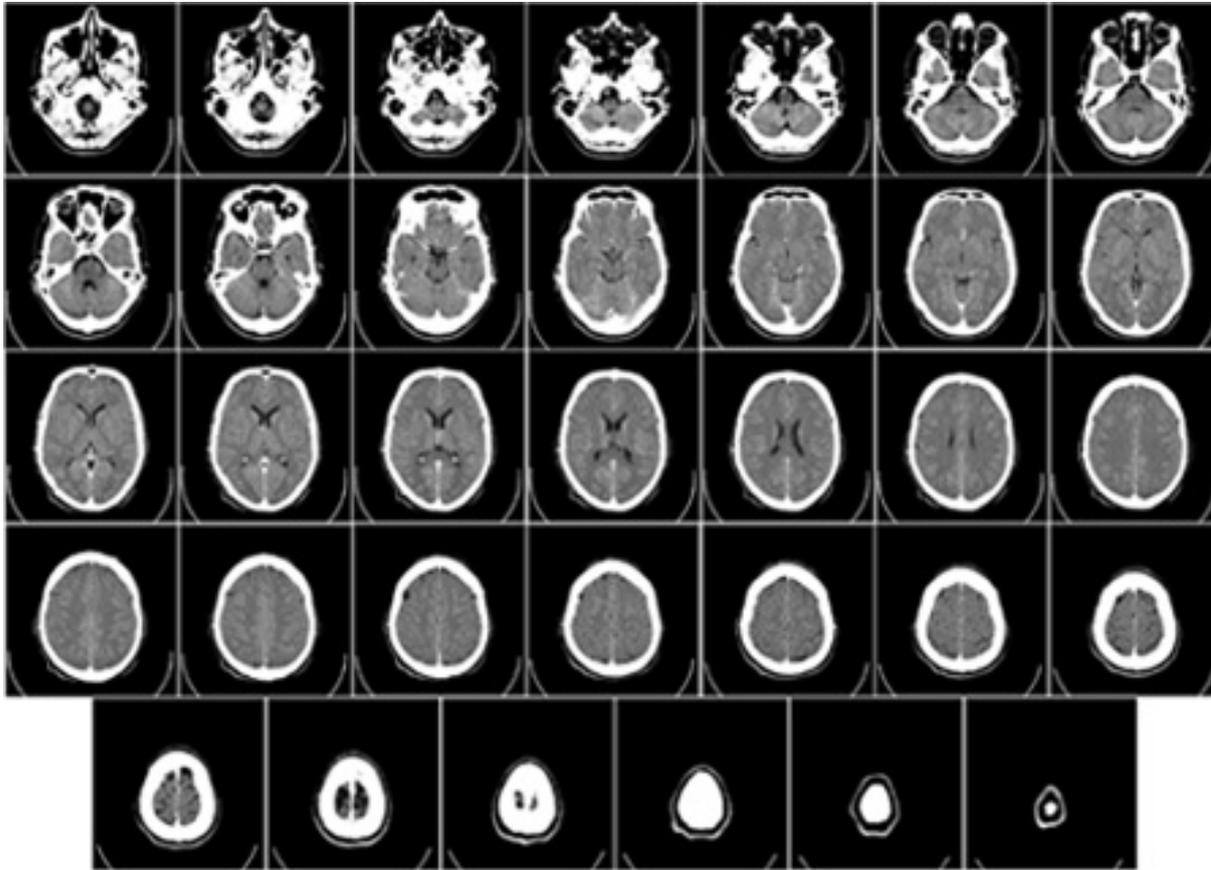


**Radiografia con rivelatori  
a semiconduttore**

# Ricostruzione 3D con la Tomografia Assiale Computerizzata (TAC)



# Tomografia Assiale Computerizzata



*Molte "fette" → molte immagini che vengono usate per ricostruire la vista tridimensionale.*

3D  
Ex: 18731  
Se: 2  
Volume Rendering No cut

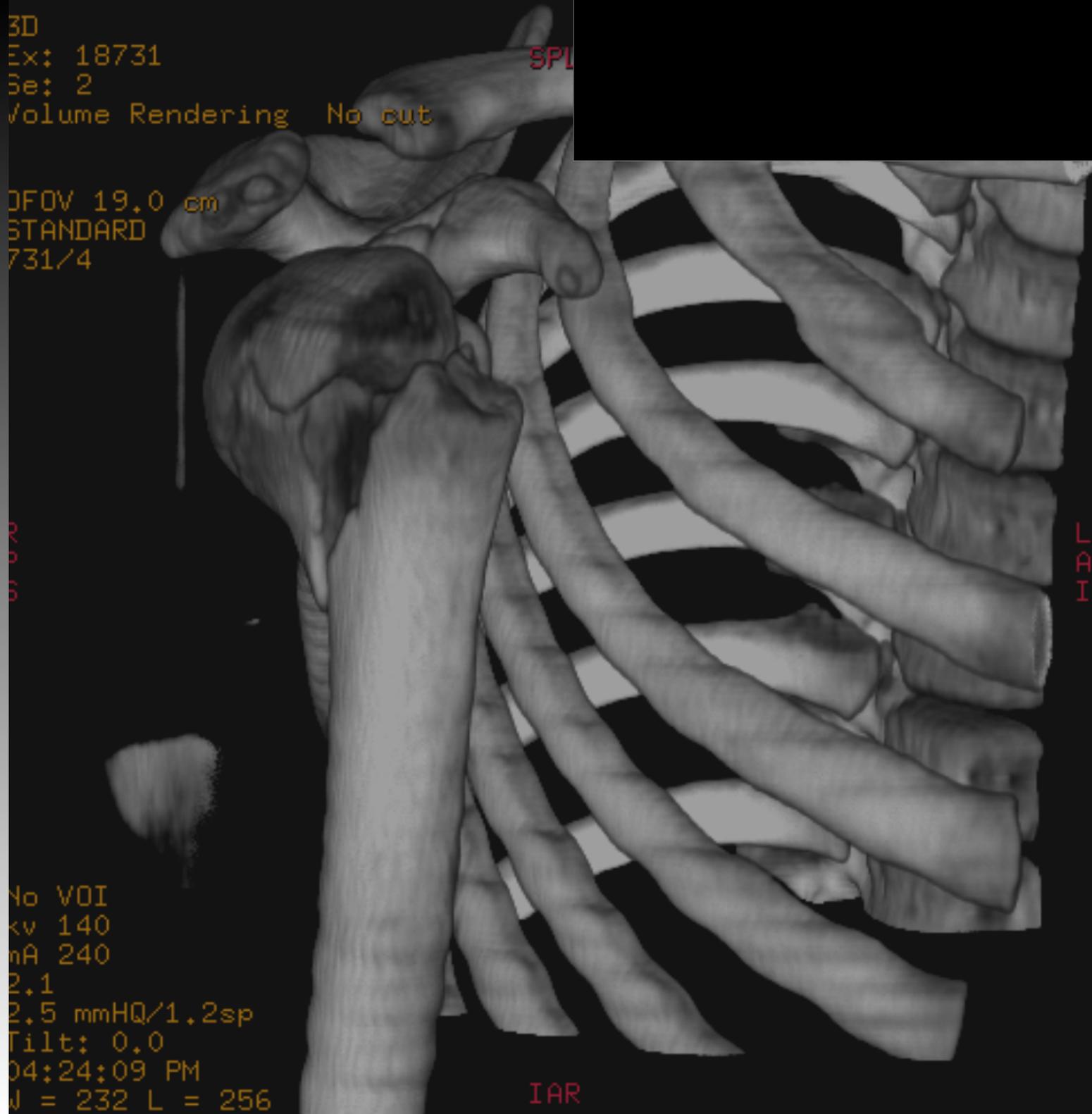
FOV 19.0 cm  
STANDARD  
731/4

No VOI  
kv 140  
mA 240  
2.1  
2.5 mmHQ/1.2sp  
Filt: 0.0  
04:24:09 PM  
W = 232 L = 256

SPL

LRI

IAR

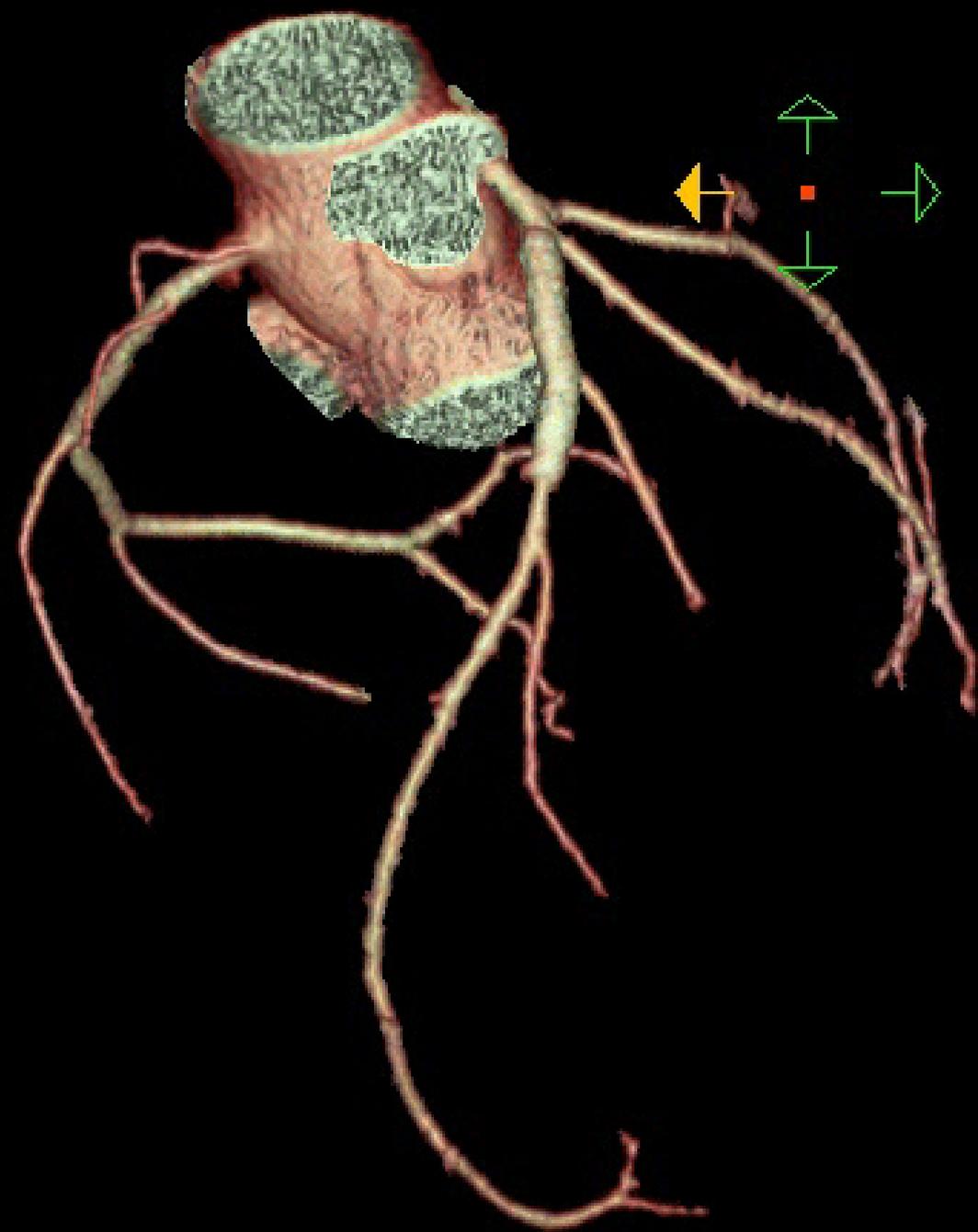


Ex:  
Se: 253  
Im: 1

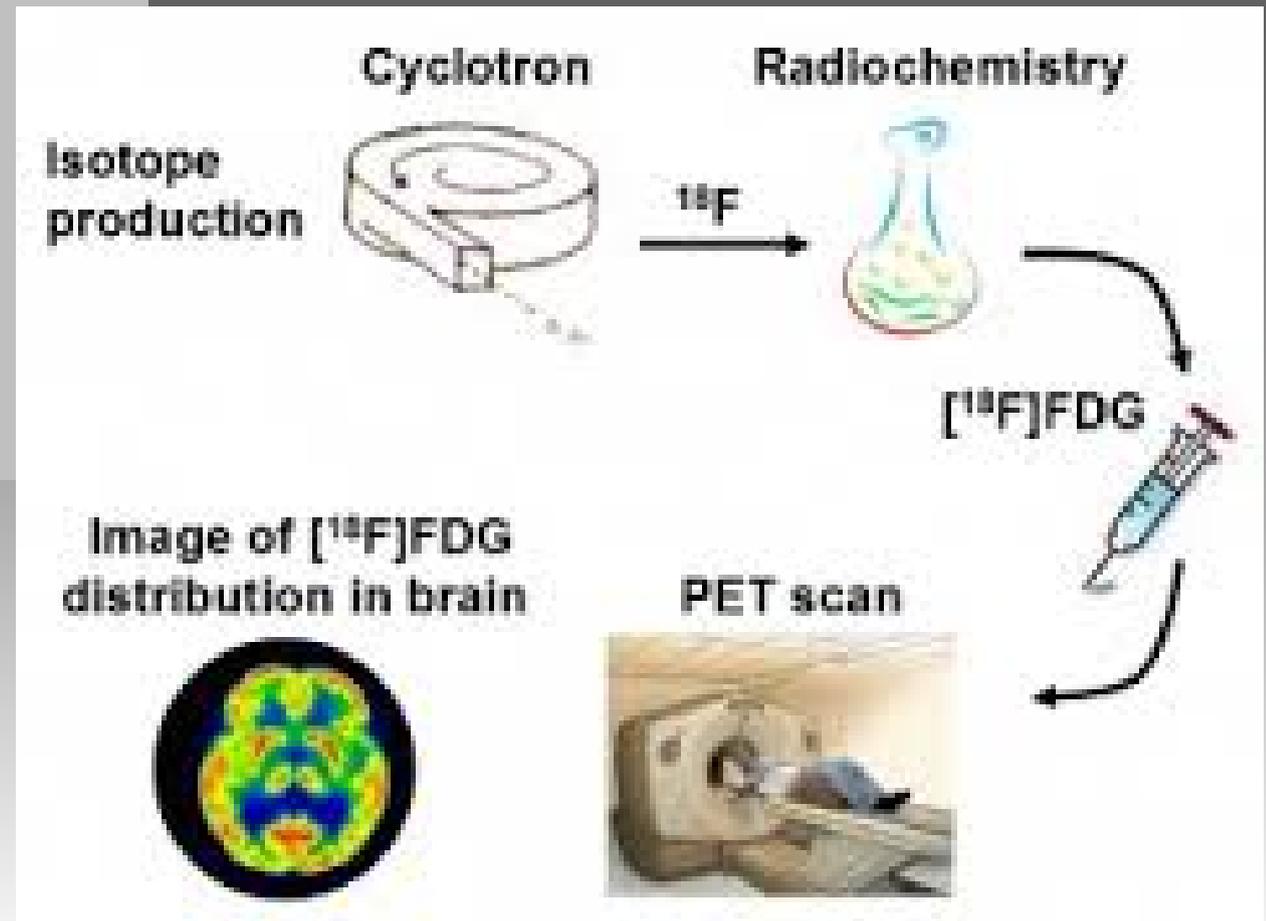
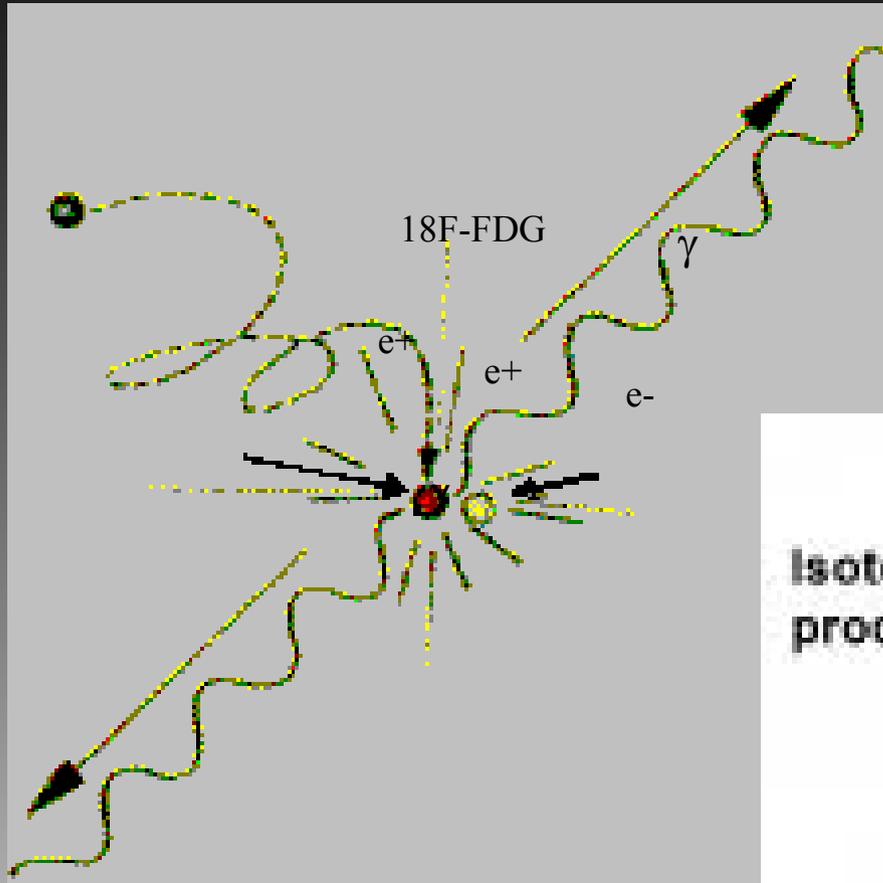
VCT CINE 12031 LAD stent

Sep 26 2006  
04:37:41 PM

# La TAC in cardiologia



# Tomografia ad emissione di positroni (PET)



# Cosa c'è dietro la PET?

## 1) Produzione radioisotopo: Il processo:

A) Produzione ioni (proiettile) :  
si usano di solito  ${}_1^1\text{H}^-$  o  ${}_2^4\text{He}^-$

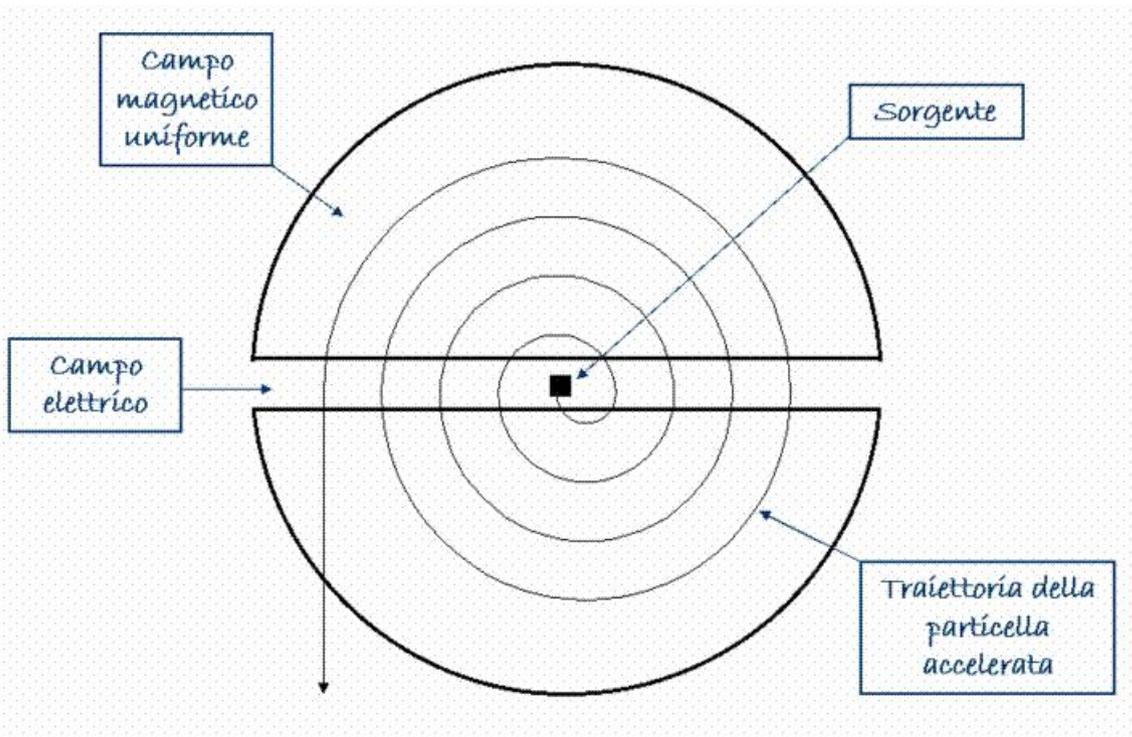
B) Accelerazione degli ioni (ciclotrone)

C) Estrazione degli ioni

D) Urto ioni con bersaglio per produzione radioisotopi

# Cosa c'è dietro la PET?

## B) accelerazione ioni : *Ciclotrone*

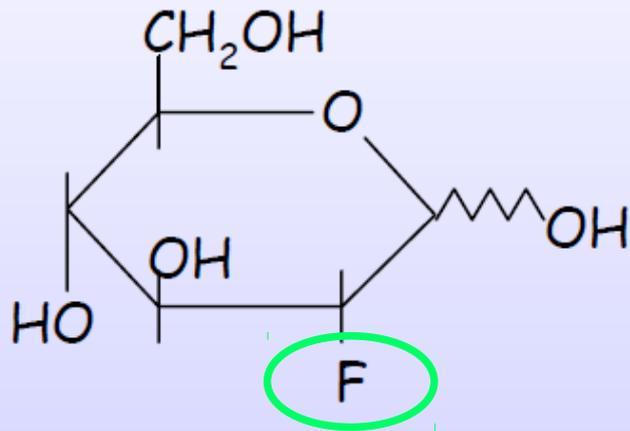


*Campo elettrico  
Alternato (accelerazione)  
[Forza di Coulomb]*

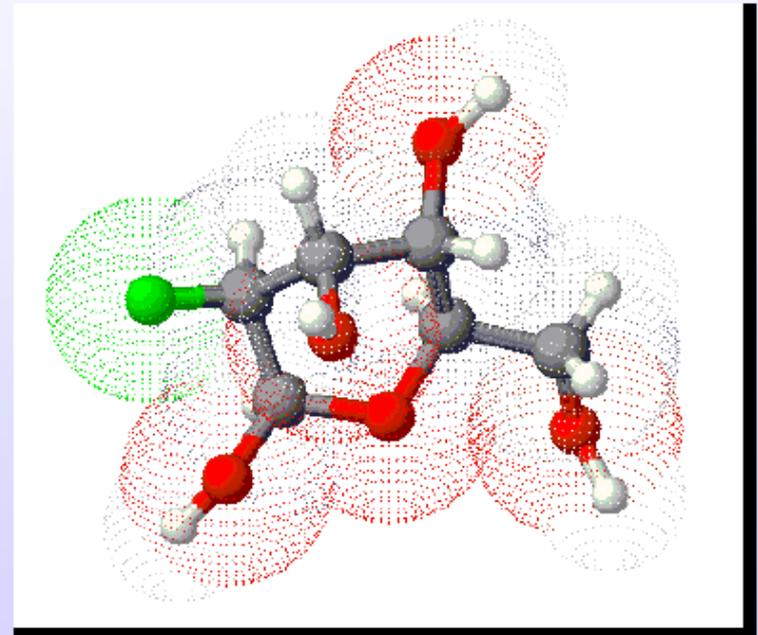
*Campo magnetico uniforme  
(Contenimento)  
[Forza di Lorentz]*

# Cosa c'è dietro la PET?

2) produzione radiofarmaco:  
*FDG o Fluoro-Desossi\_Glucosio*

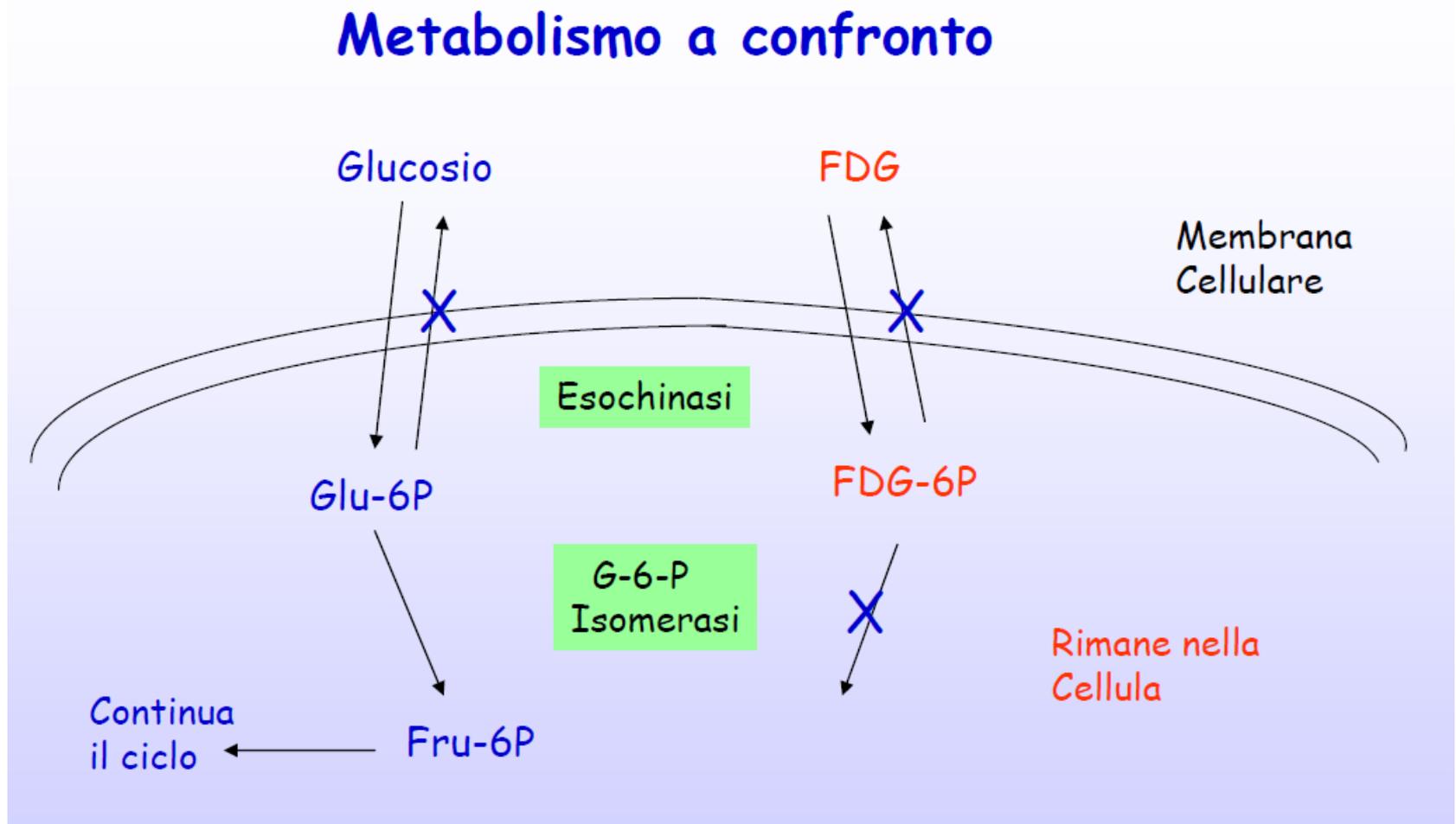


FDG: Fluoro-Desossi-Glucosio



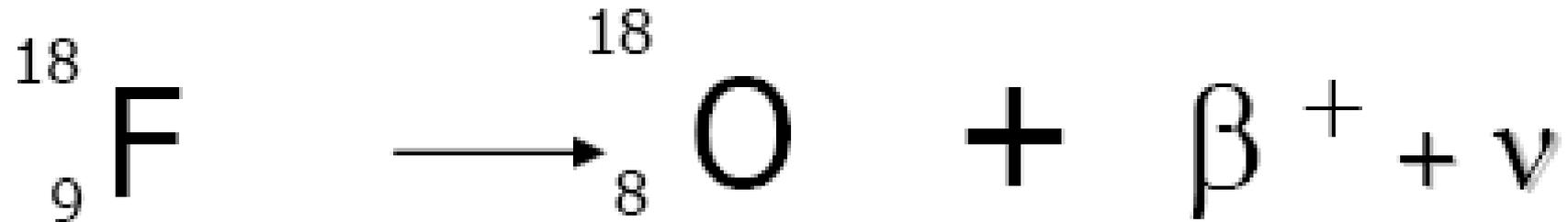
# Cosa c'è dietro la PET?

## 3) metabolismo radiofarmaco:



# Cosa c'è dietro la PET?

## 4) Decadimento radioisotopo



- Studio emivita (120 minuti)
- Studio tempo utile (5 ore circa)
- Studio dei prodotti del decadimento

# Cosa c'è dietro la PET?

*5) Interazione prodotti decadimento con la materia (tessuti viventi)*

*→ Come si rivelano;*

*→ Quanto danno possono fare (fisico e/o Tossicologico);*

*In questo caso:*

*→ neutrino se ne va;*

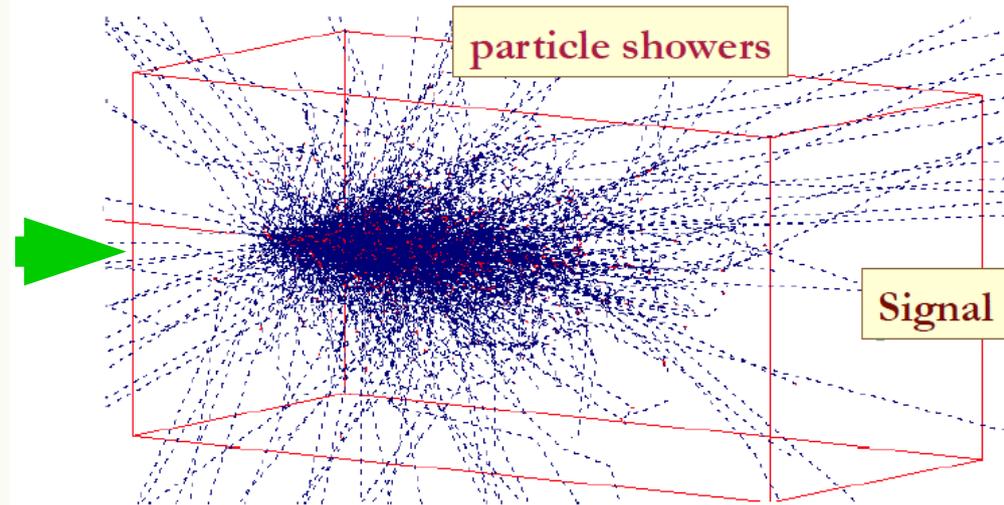
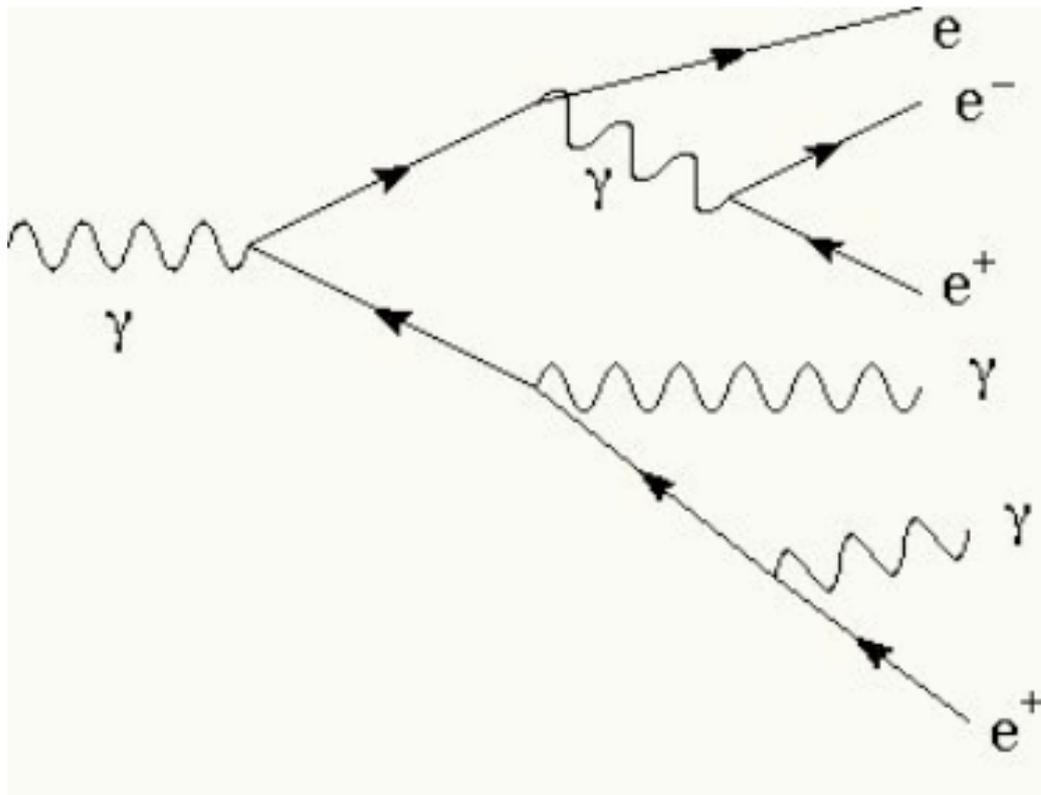
*→ Ossigeno rimane ma non dà problemi*

*→ positrone si annichila con un elettrone e produce due fotoni in direzione opposta.*

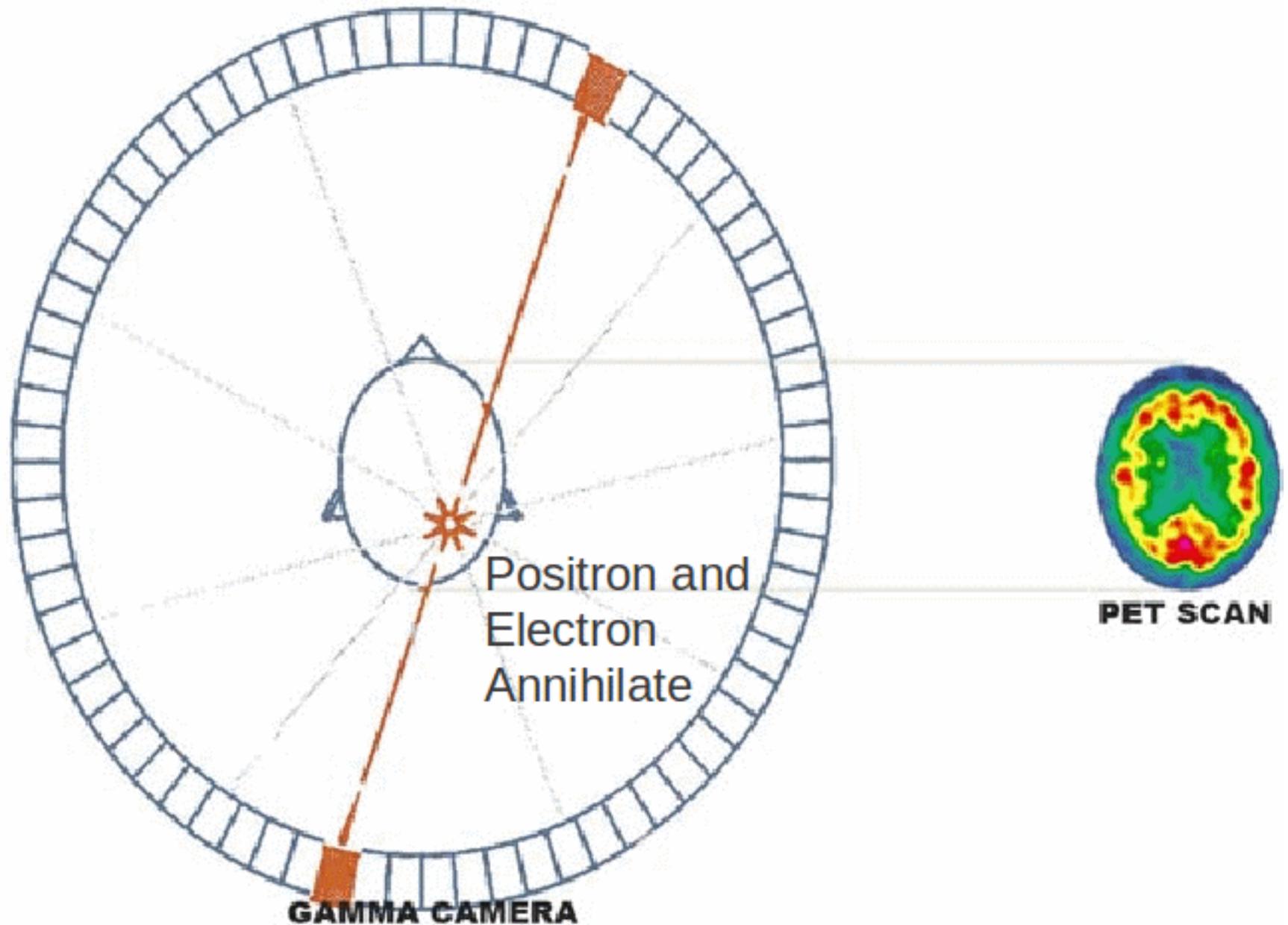
# Cosa c'è dietro la PET?

6) *rivelazione dei prodotti del decadimento  
(in questo caso i due fotoni secondari)*

→ *Come si rivelano: Cristalli scintillanti*



# Tomografia ad emissione di positroni (PET)



# Cosa c'è dietro la PET?

*6) rivelazione dei prodotti del decadimento  
(in questo caso i due fotoni secondari)*

→ *Coincidenza di segnale in tempo e spazio*

→ *8000 - 15000 cristalli  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  di sezione*

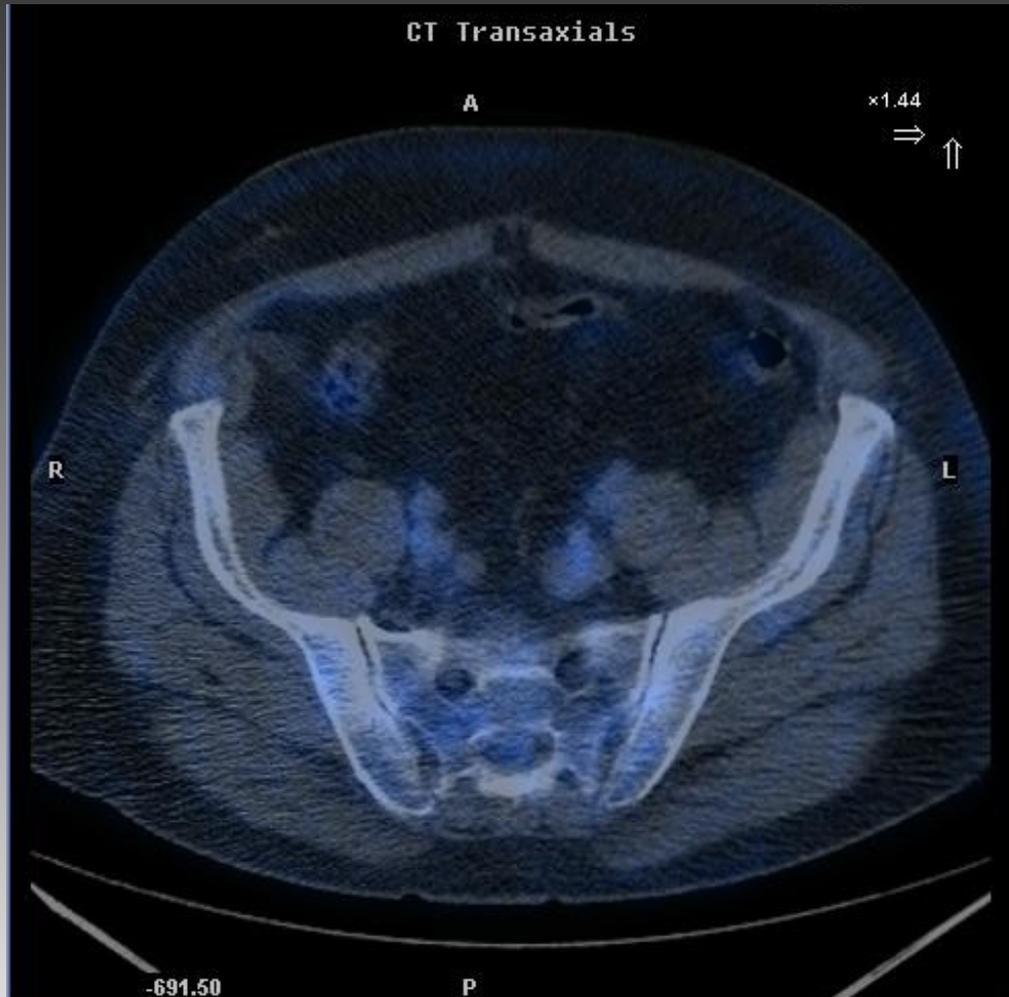
→ *circuiti elettronici per misurare il segnale*

*Con precisioni di 30 ps ( $3 \times 10^{-11} \text{ s}$ )*

*[perché? velocità della luce =  $3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ ]*

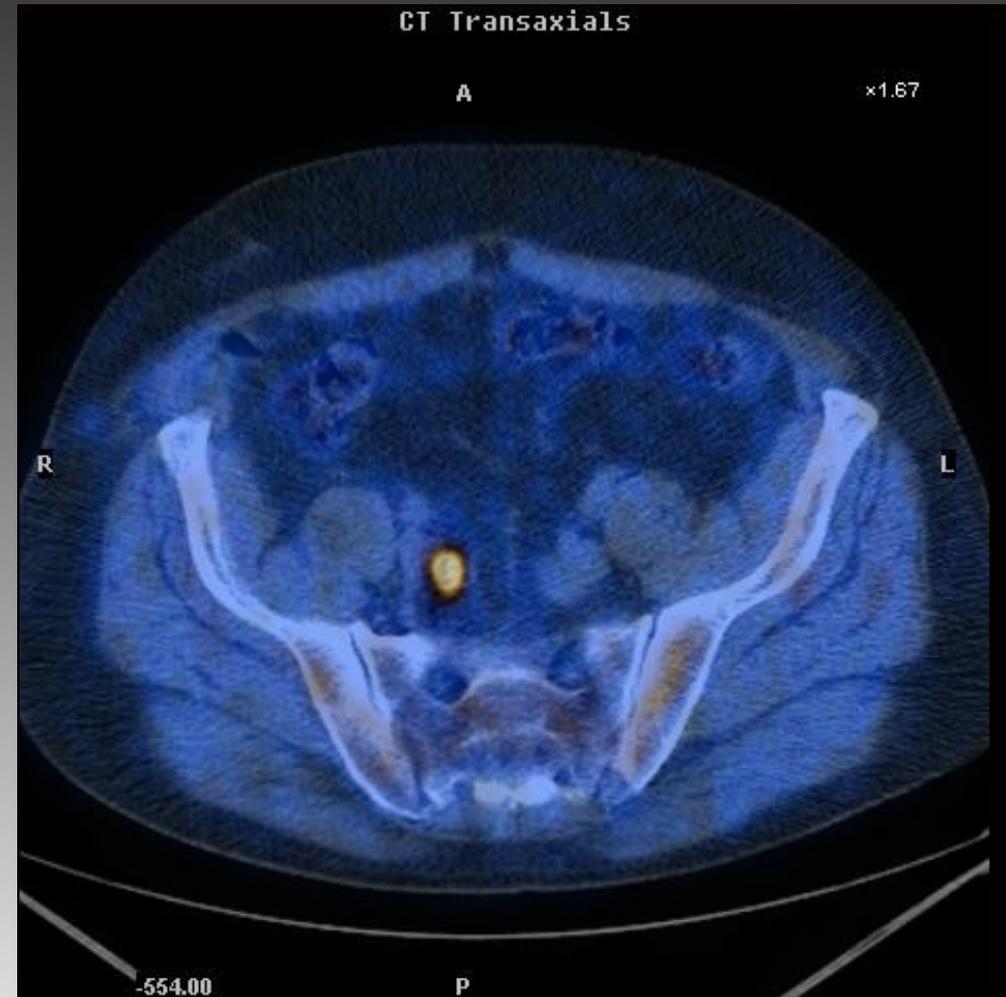
*incertezza nei tempi => incertezza posizione.*

# Le nuove frontiere della PET nella diagnosi dei tumori



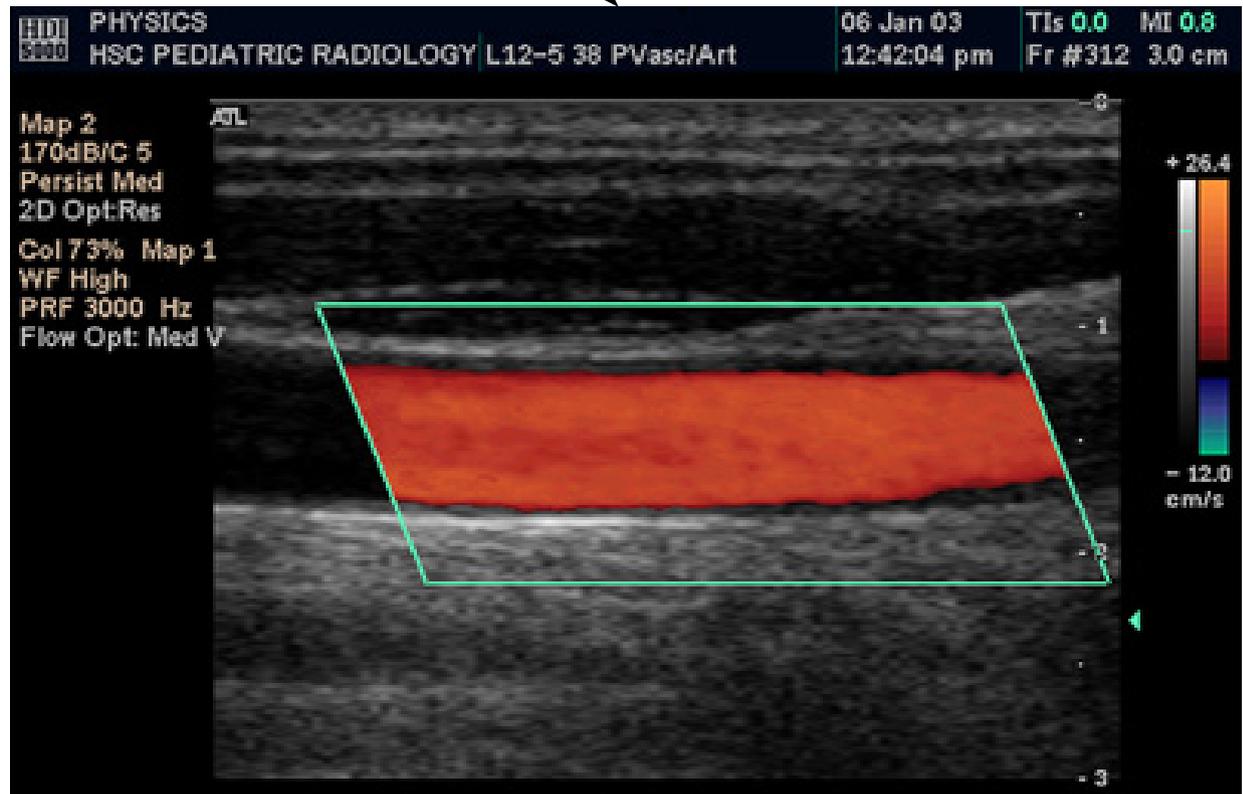
18F-FDG

Dr. A. Biggi – Cuneo



11C-Colina

# Ecografia (effetto Doppler)

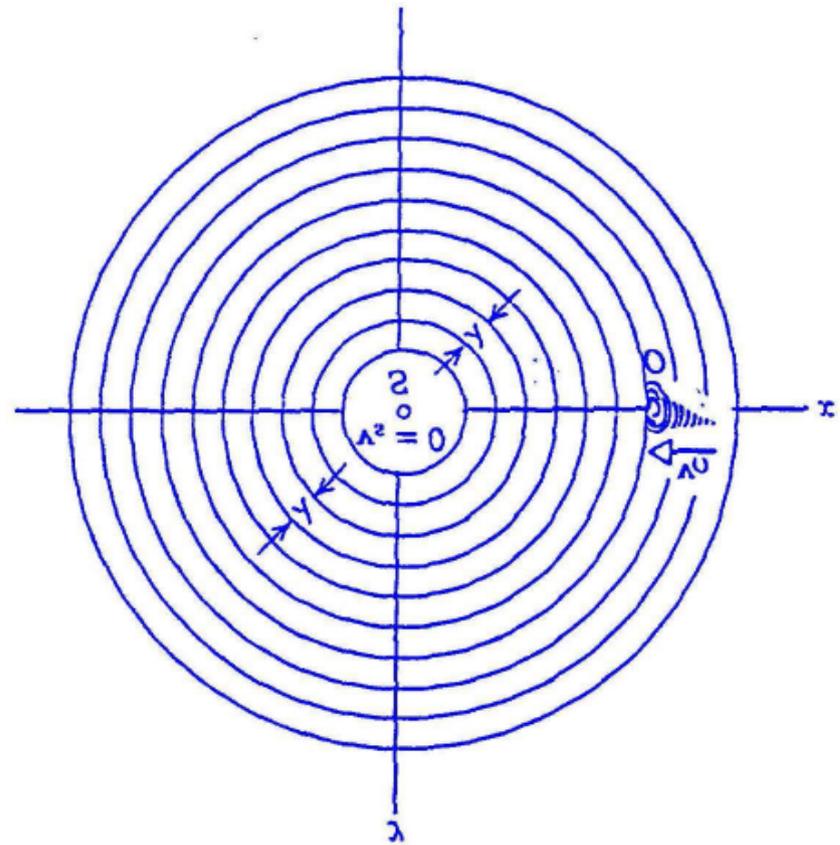


# EFFETTO DOPPLER

Variazione della frequenza di un'onda dovuta al moto relativo fra sorgente ed osservatore

Moto dell'osservatore

Se l'osservatore va incontro (si allontana) con una certa velocità, egli raccoglie in 1 secondo un numero di cicli maggiori (minori) di quelli che raccoglierebbe se si trovasse in quiete

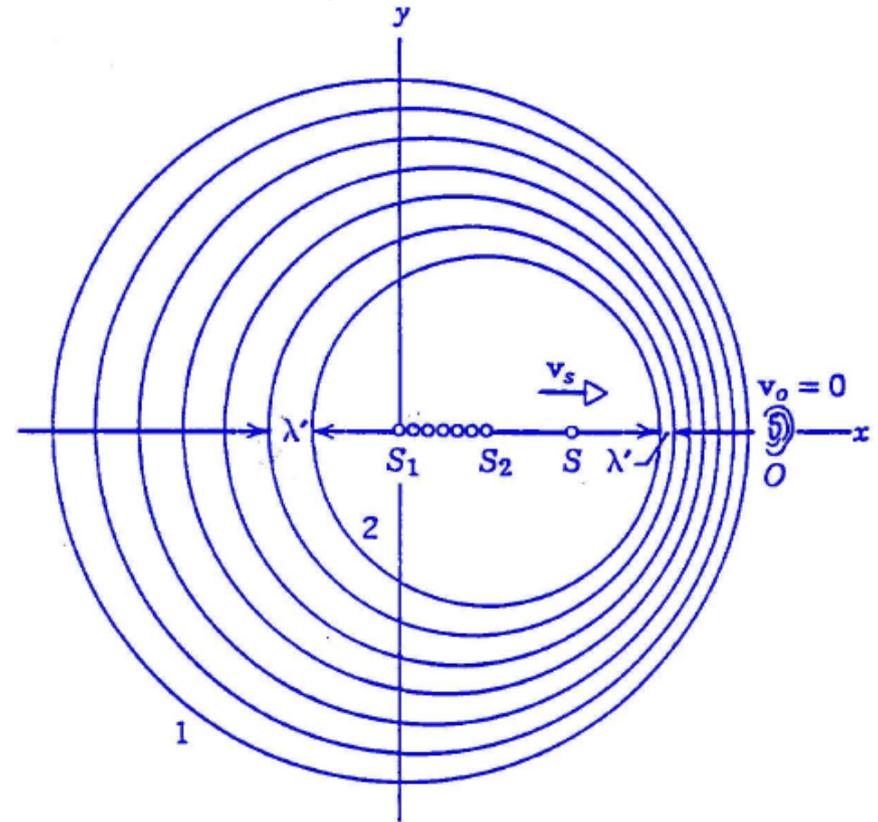


# EFFETTO DOPPLER

Variazione della frequenza di un'onda dovuta al moto relativo fra sorgente ed osservatore

Moto della sorgente

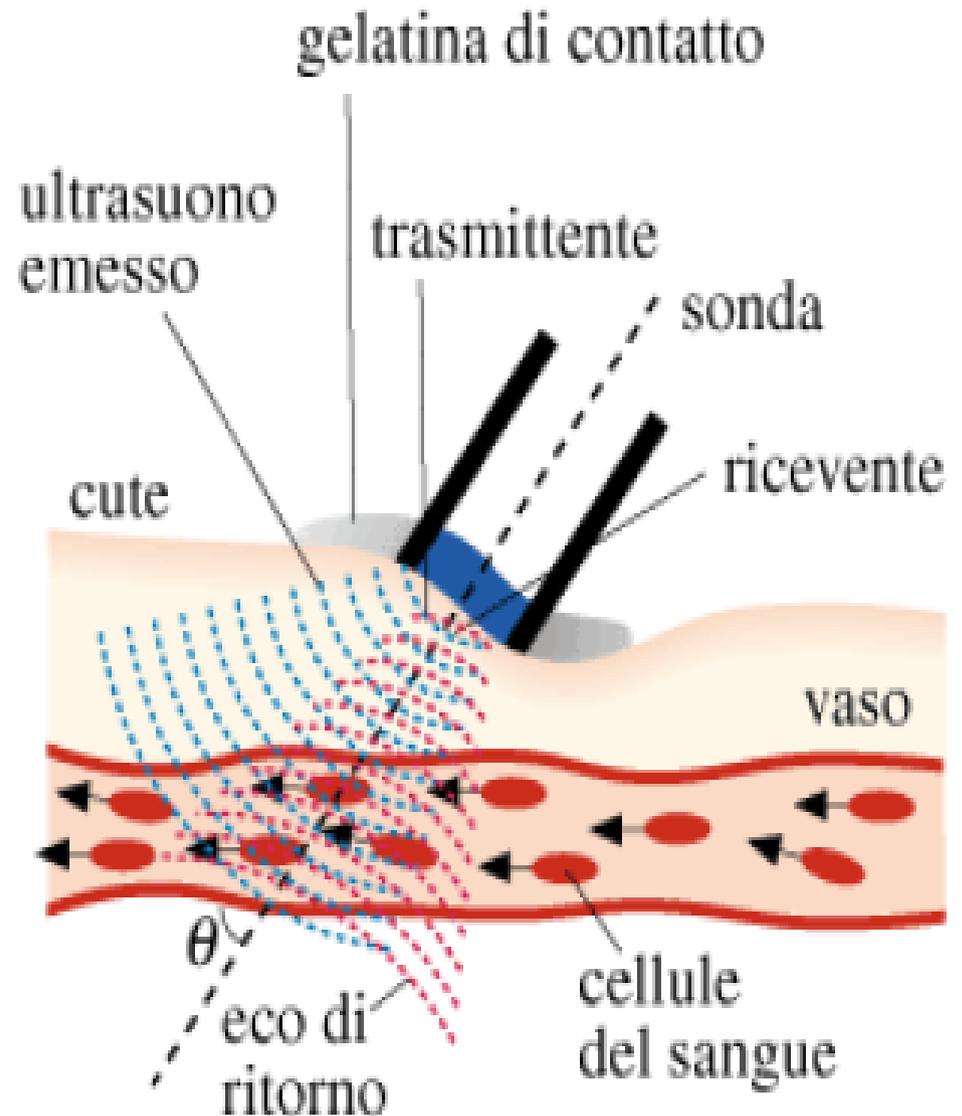
La sorgente emette i cicli ad intervalli di tempo  $T$ , ma si avvicina (si allontana) all'osservatore per cui egli percepisce una frequenza maggiore (minore)



# EFFETTO DOPPLER

Mediante l'effetto Doppler è possibile controllare il flusso ematico all'interno di un vaso sanguigno non invasivamente

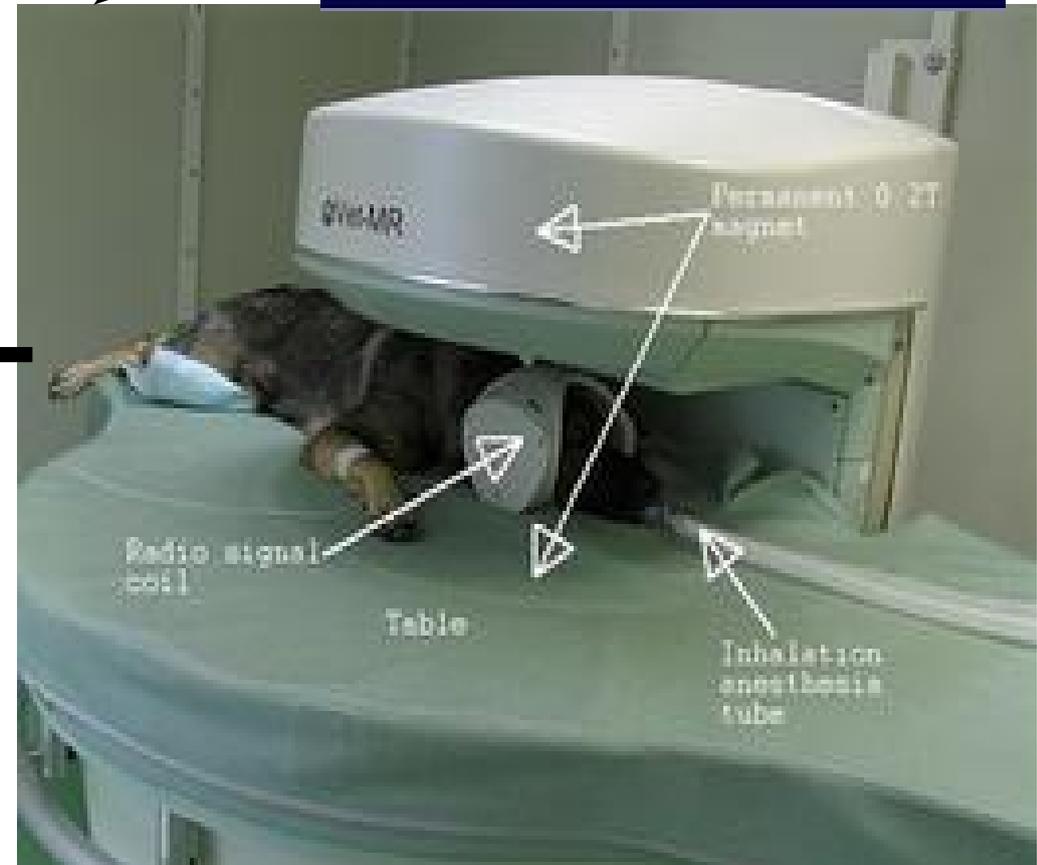
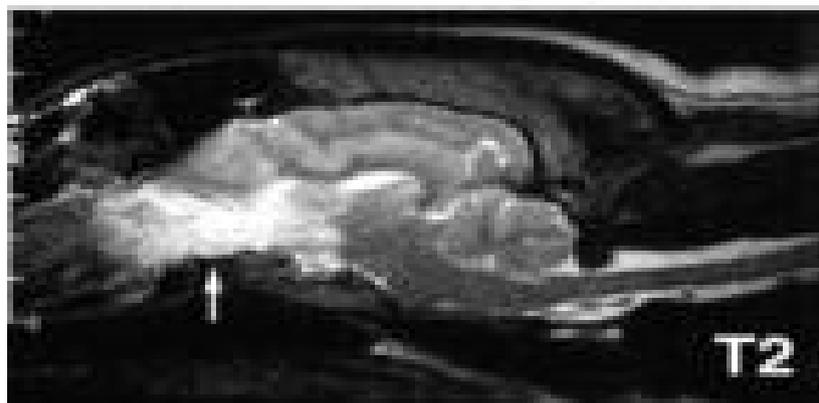
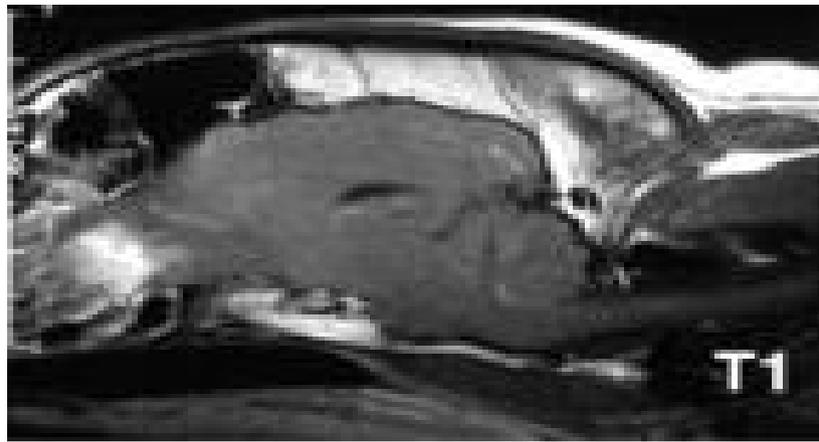
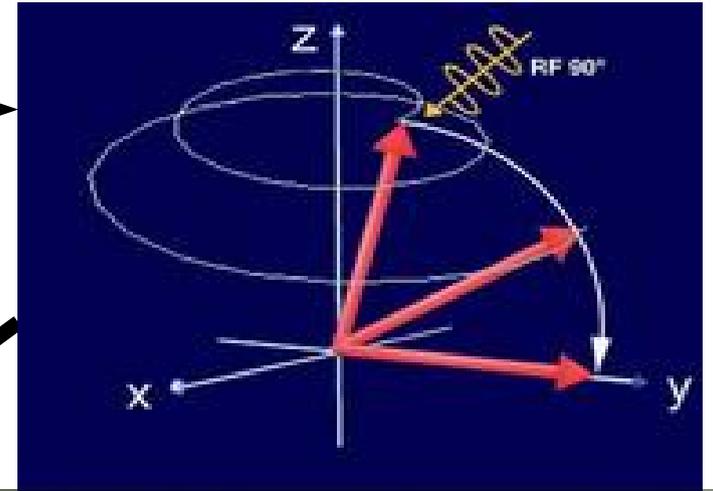
Dalla variazione di frequenza dell'eco emessa dai globuli rossi in movimento si ricava la velocità di efflusso



# Risonanza Magnetica



## *Risonanza Magnetica dell'encefalo*



# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

(assistenza alla) Terapia :

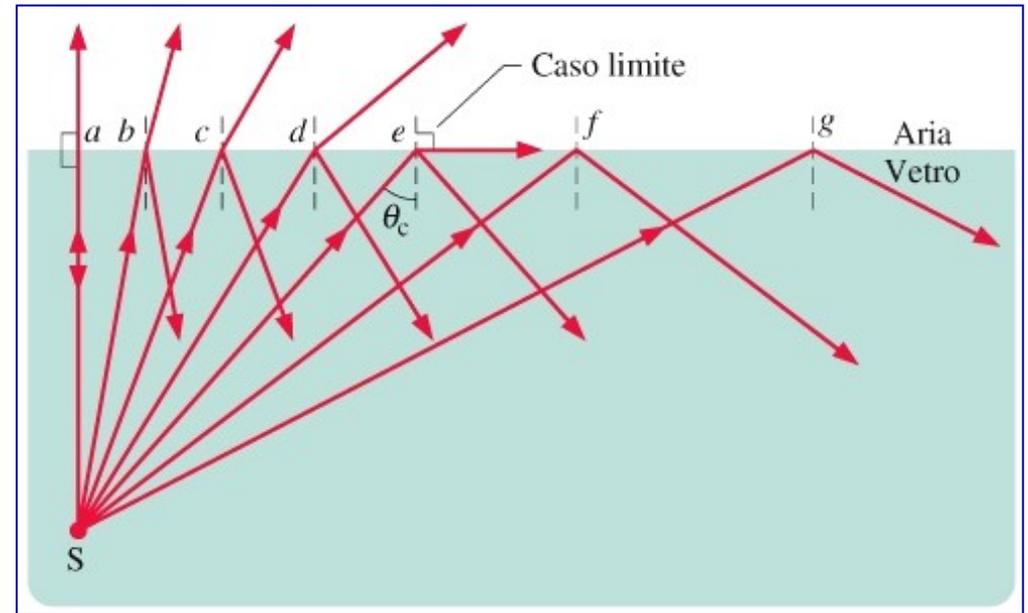
Quando è necessario operare all'interno del corpo senza una operazione invasiva, e quindi servono immagini per guidare il medico:

- Endoscopia;
- Radiologia Interventistica (fasci di raggi X);
- Biopsie alla prostata (ecografie);
- etc.....

# RIFLESSIONE TOTALE

Si chiama **angolo limite**,  $\ell$ , l'angolo di incidenza che corrisponde all'angolo di rifrazione di  $90^\circ$ .

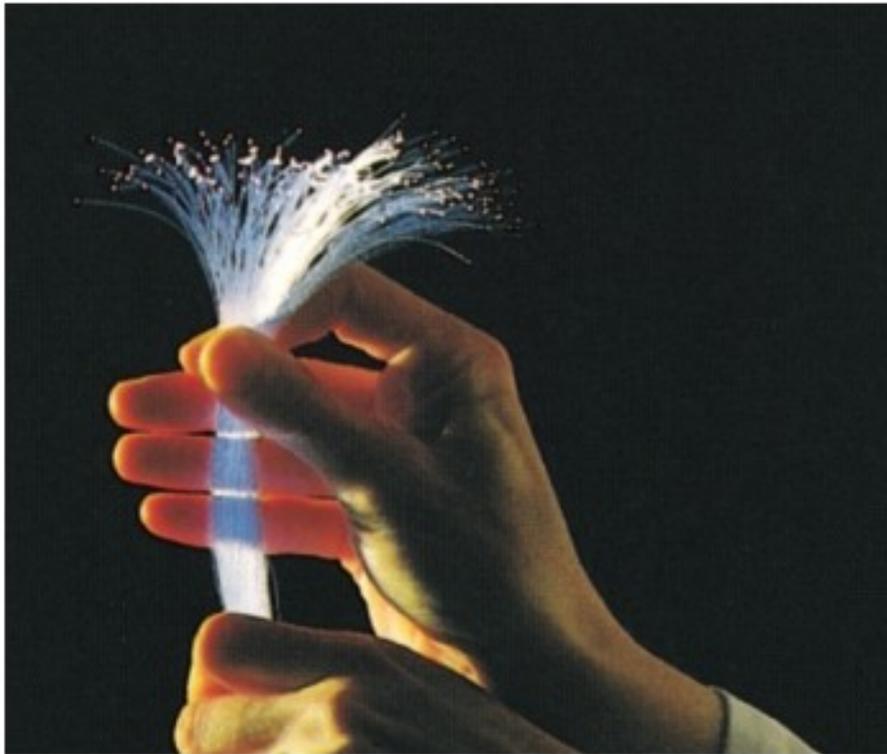
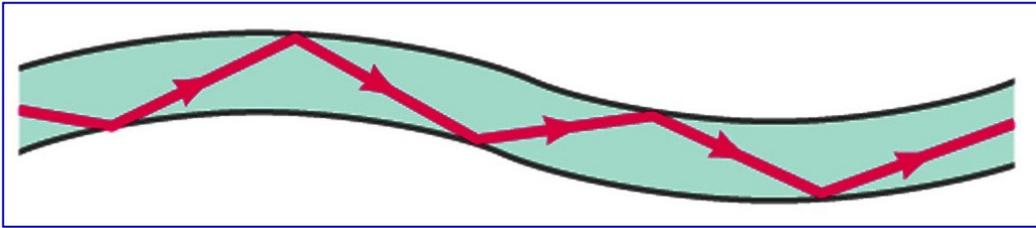
$$\frac{\sin \ell}{\sin 90^\circ} = \sin \ell = \frac{n_2}{n_1}$$



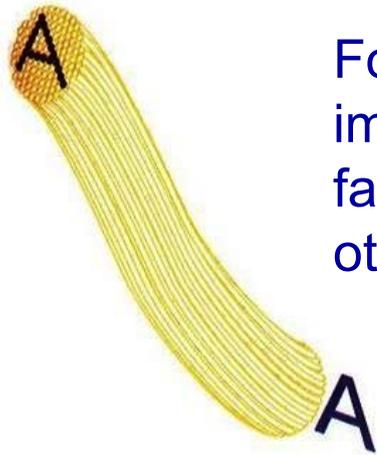
Per angoli di incidenza maggiori dell'angolo limite tutta la radiazione viene riflessa.

# FIBRE OTTICHE

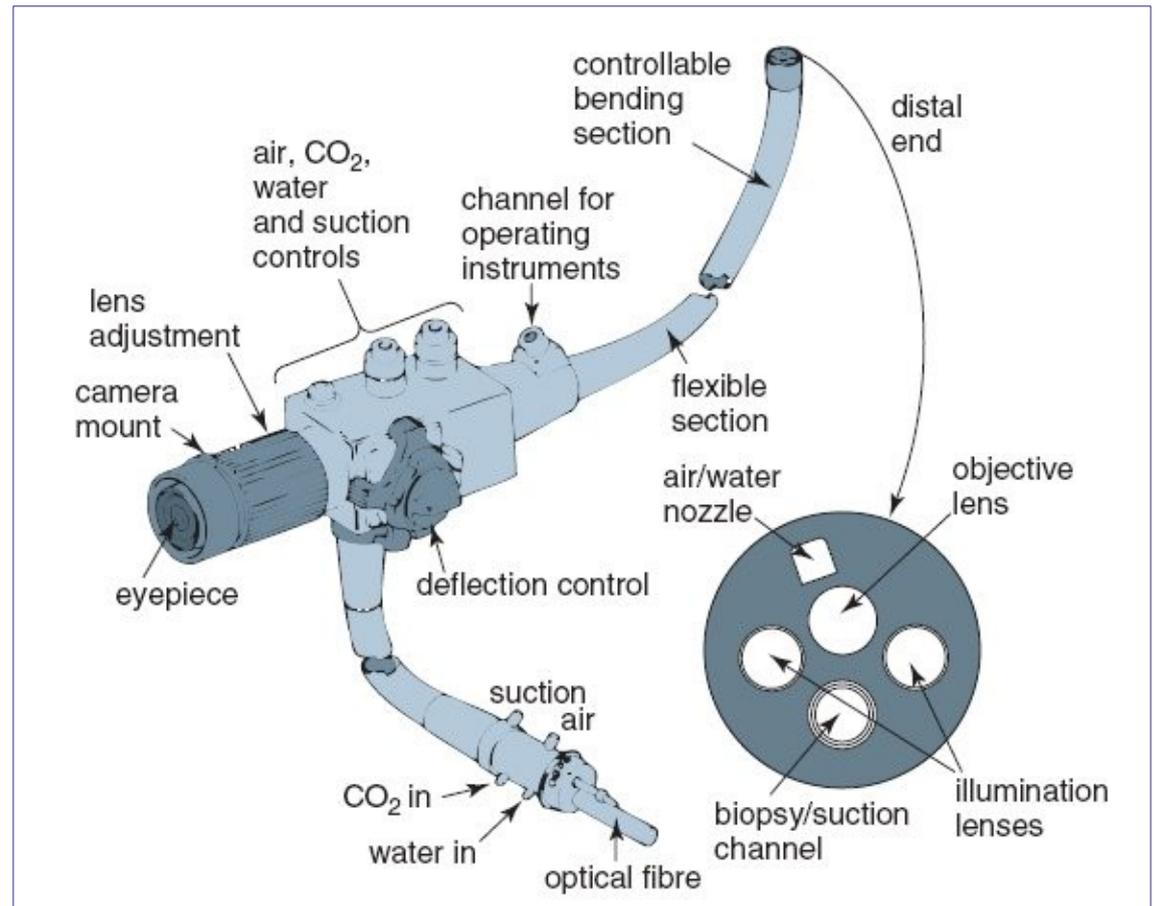
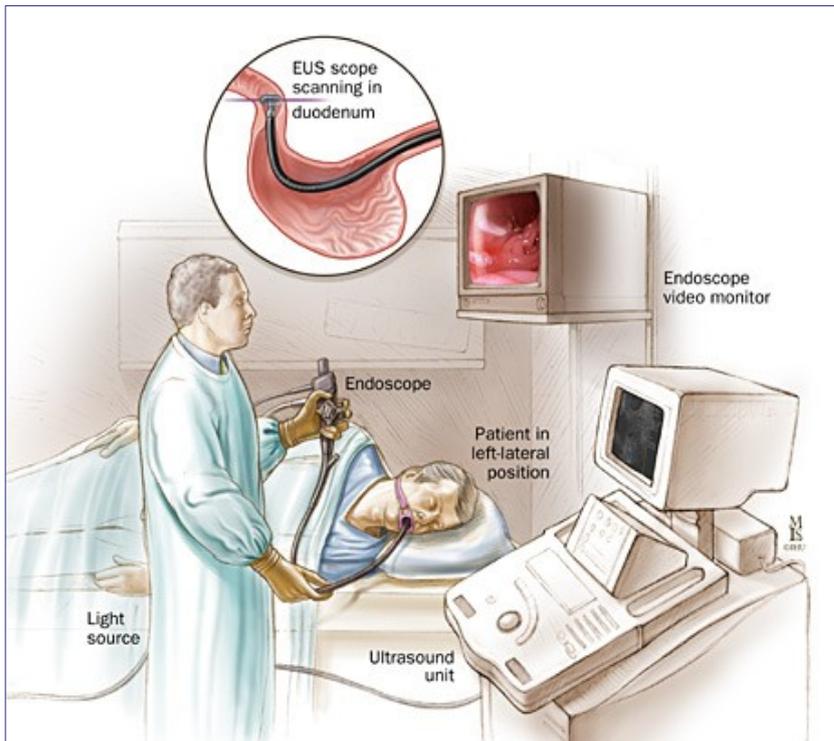
La riflessione totale trova applicazione nelle **fibre ottiche**.



# ENDOSCOPIO



Formazione delle immagini in un fascio di fibre ottiche

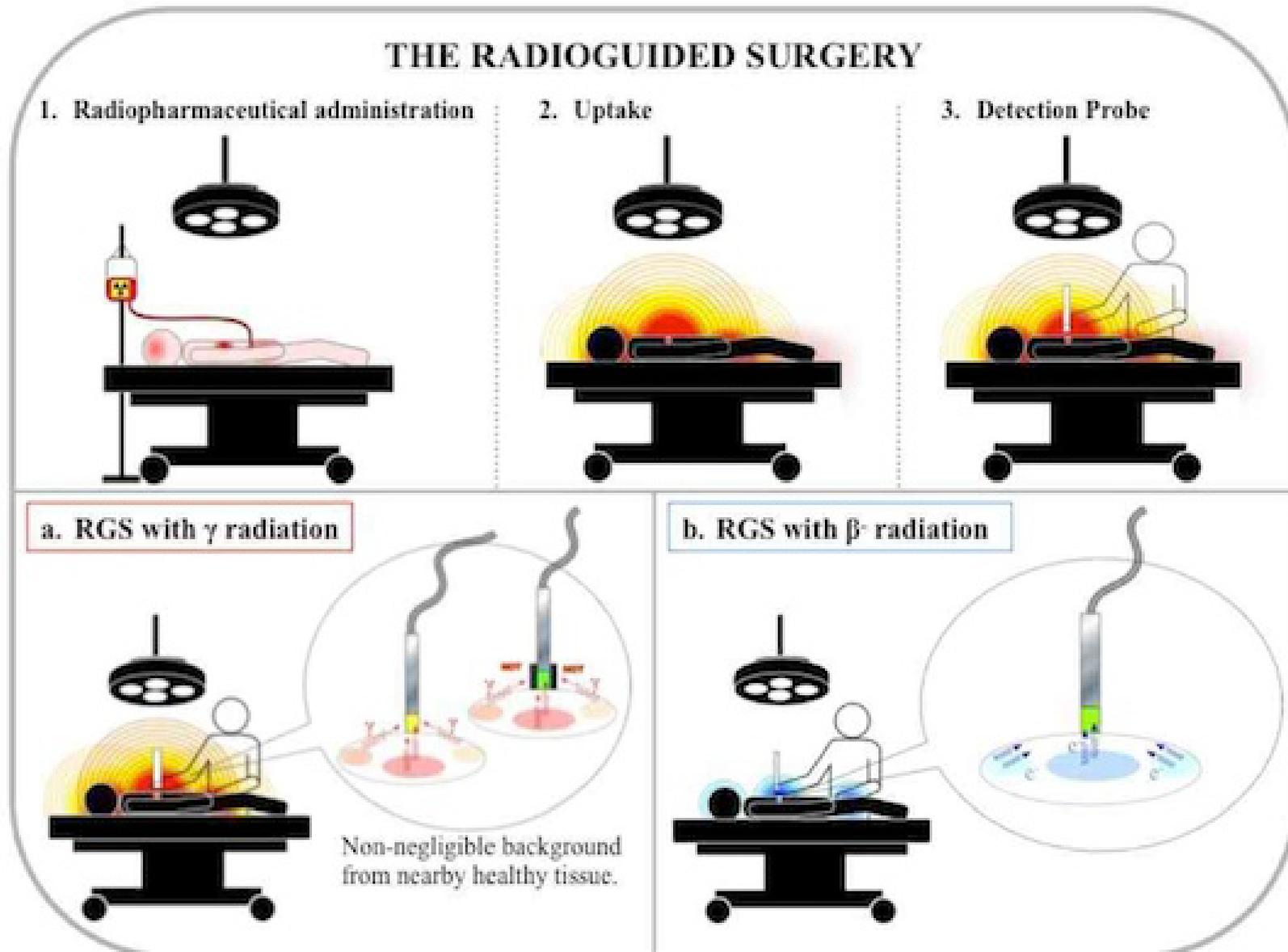


# Endoscopia virtuale

**colon**



# Chirurgia radioguidata

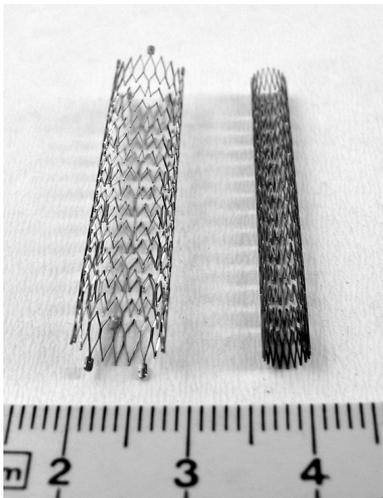


# Radiologia Interventistica

## Indicazioni cliniche

- ☢ Aneurismi dell'aorta addominale ed endoprotesi
- ☢ Coronarografie, PTCA
- ☢ Steno-ostruzioni e ricanalizzazioni arteriose

## Stent vascolari



L. Servoli

Stray Radiation  
in  
 $\mu\text{Sv per Gy}\cdot\text{cm}^2$

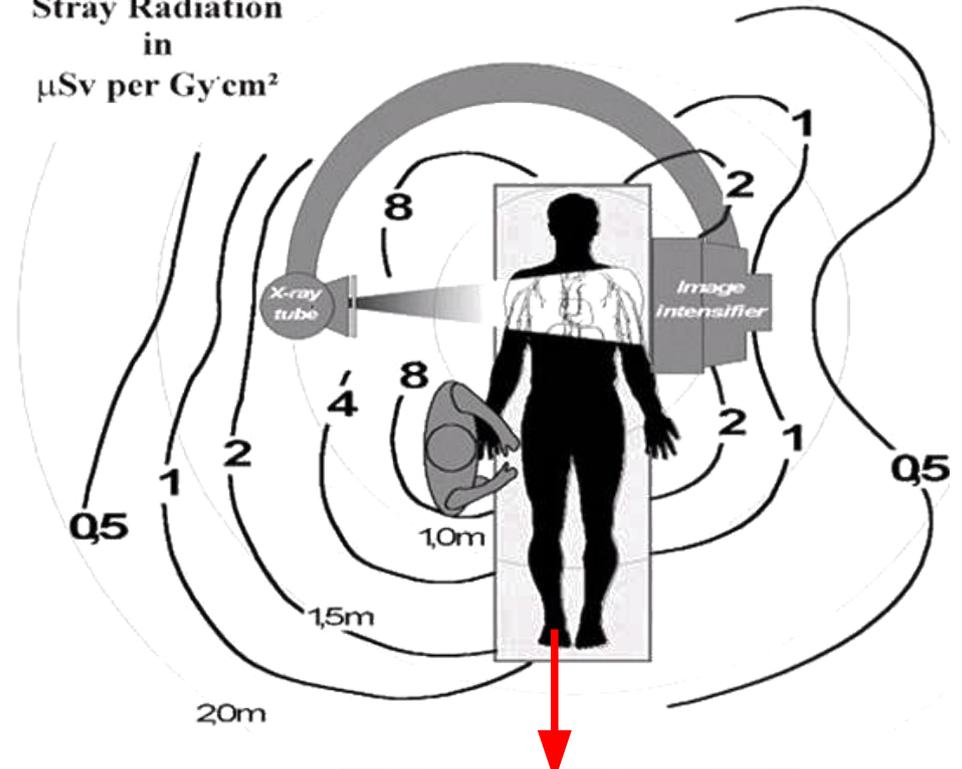


Immagine dei vasi

Posizionamento nella regione interessata all'intervento

La Fisica in Medicina

# Dosimetria: pazienti e operatori

*Le radiazioni ionizzanti sono impiegate sempre di più  
MA possono essere dannose.*

*→ Serve controllare che sia i pazienti che il personale medico ed infermieristico non superi limiti, fissati a livello internazionale, di esposizione annuale.*

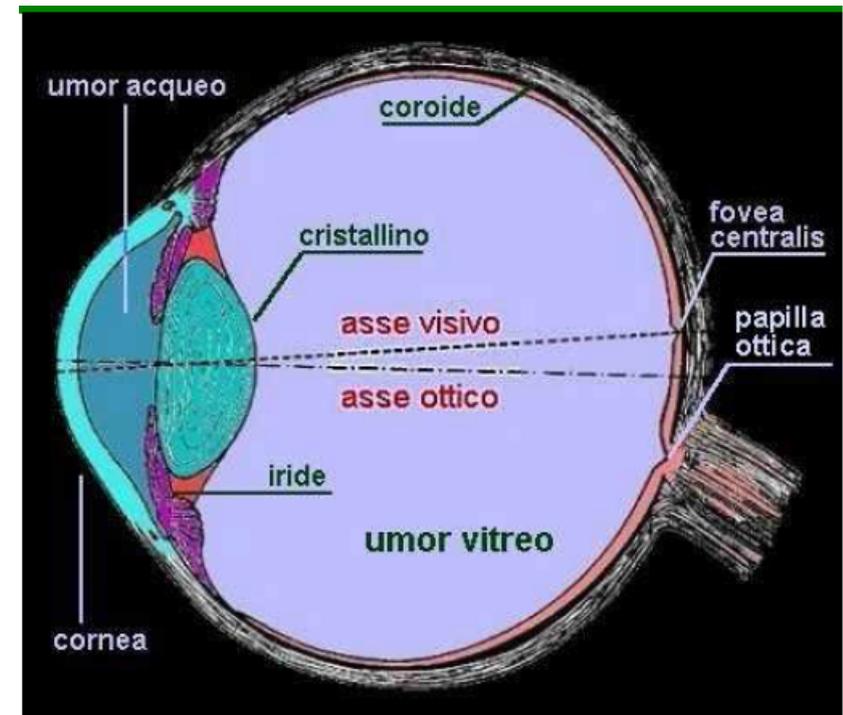
*Il compito della dosimetria è quello di MISURARE le radiazioni ionizzanti emesse dalle varie sorgenti e assorbite dagli esseri umani.*

# Dosimetria

- *Studio delle radiazioni ionizzanti.*
- *Studio della loro interazione con la materia (inanimata e vivente);*
- *sviluppo di metodologie e strumenti di misura.*

# Terapia basata su principi fisici

- tipicamente comunicare energia ai tessuti.
- Fisioterapia (magnetoterapia, crioterapia, etc..)
- Chirurgia via laser, elettrocoagulazione, etc. (correzione difetti cristallino)
- **Terapia oncologica;**



# Terapia Oncologica

Il problema della terapia oncologica:

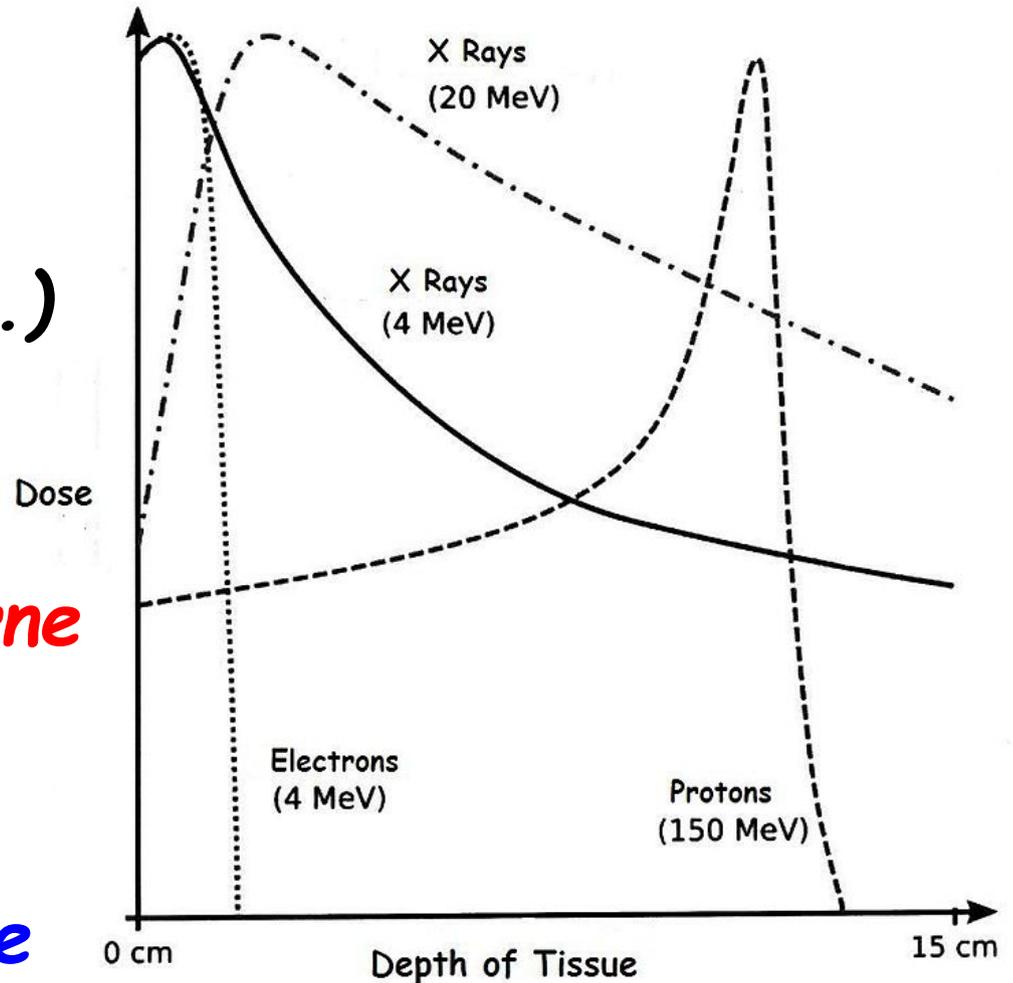
**Distruggere i tessuti tumorali e  
ALLO STESSO TEMPO  
risparmiare i tessuti sani.**

# Terapia Oncologica

*Energia trasportata da  
Radiazioni Ionizzanti  
(fotoni, elettroni, protoni..)*

*Sorgenti solitamente **esterne**  
al corpo.*

*→ per raggiungere il tumore  
occorre attraversare altre parti sane del corpo.*



# Terapia oncologica IORT

## Radioterapia Intraoperatoria :

- si esegue una incisione nel corpo del paziente in modo da esporre la massa tumorale;
- si punta l'acceleratore con il fascio di elettroni collimato sulla zona da colpire;
- gli elettroni penetrano fino ad un certo punto nel corpo del paziente (scegliendo opportunamente la loro energia).

**E quindi vengono risparmiati i tessuti confinanti col tumore.**

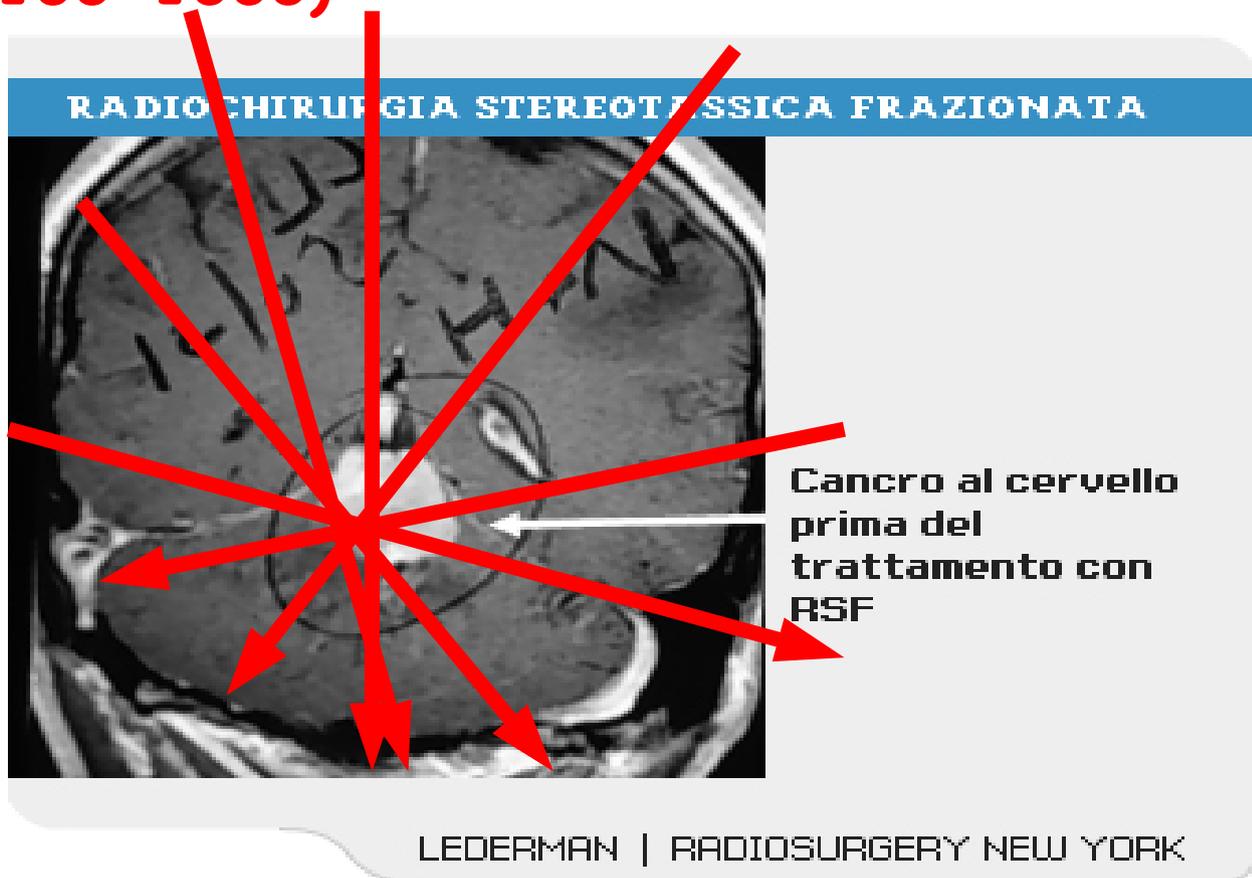


# IL problema della radioterapia

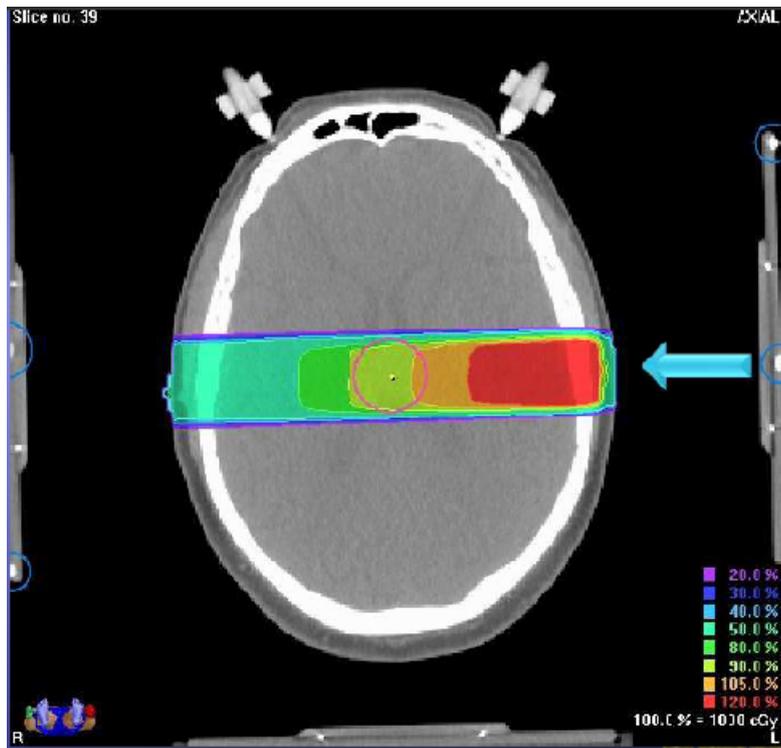
**Esempio: tecnica stereotassica: piccoli fascetti di raggi X, molto focalizzati e a bassa dose, che proveniendo da direzioni diverse (anche 100-1000) sommano la dose solo nella zona interessata.**

Molta dose nella zona  
Tumorale.

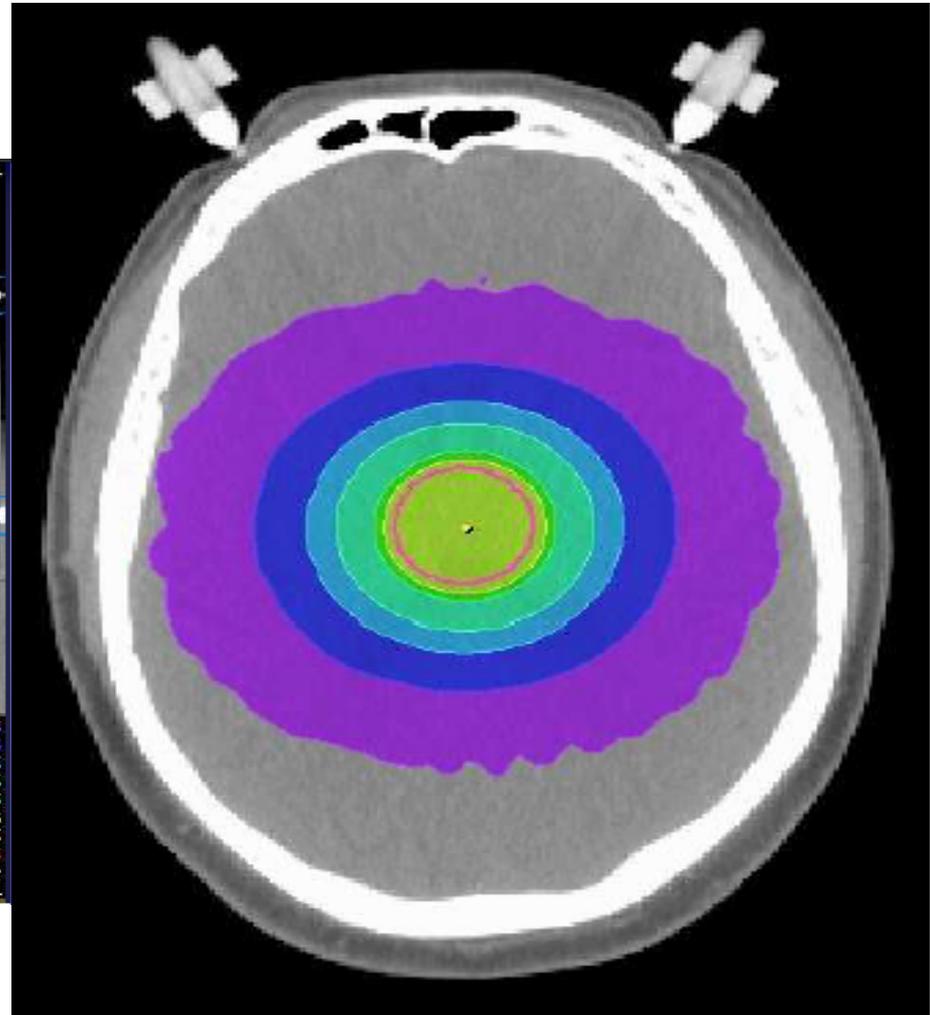
Piccola dose nelle zone  
non-tumorali circostanti.



# Tecnica stereotassica



**1 fascio**

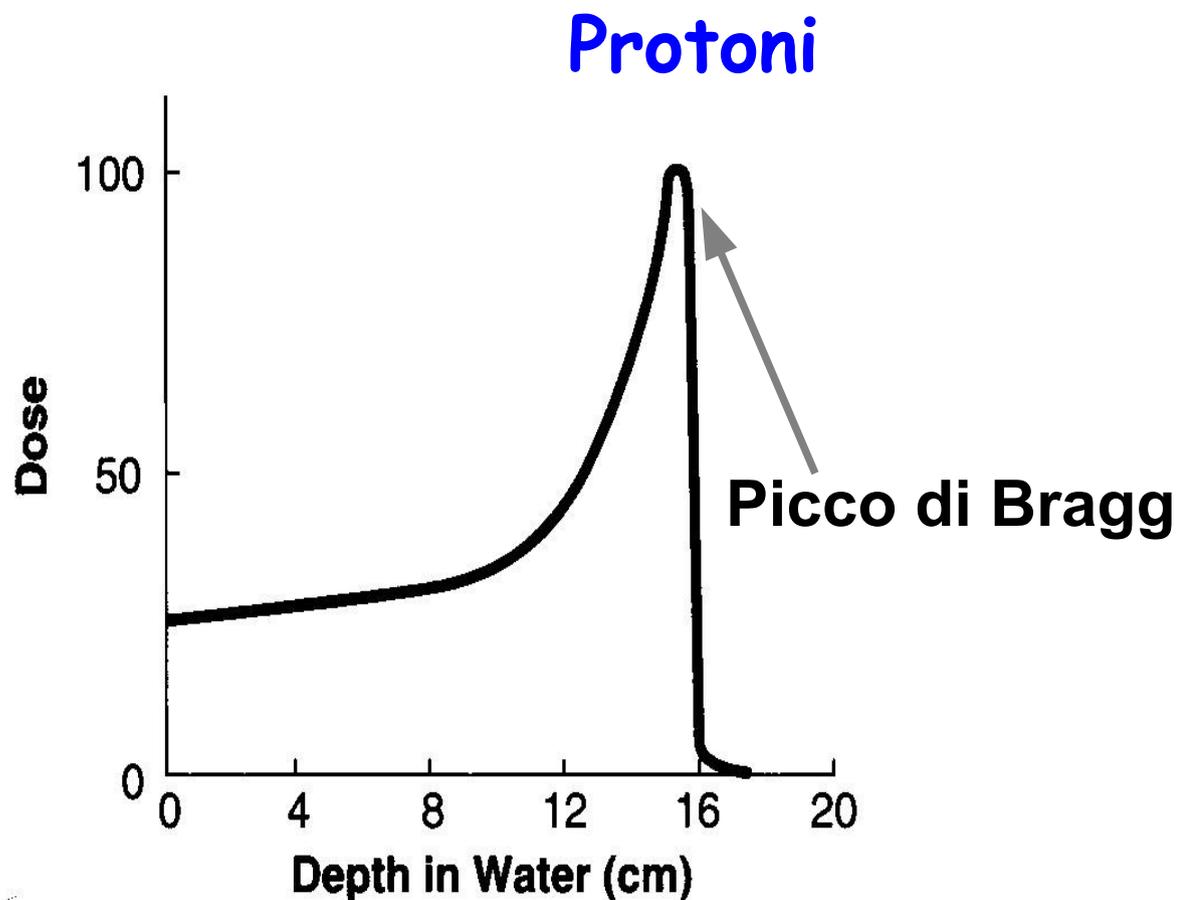


**Fascetti che arrivano a 360°**

# Adroterapia

**I protoni** (e ancor più gli ioni pesanti) rilasciano poca energia nella prima parte della interazione con la materia, poi invece molto rapidamente perdono tutta la loro energia in poco spazio (qualche mm).

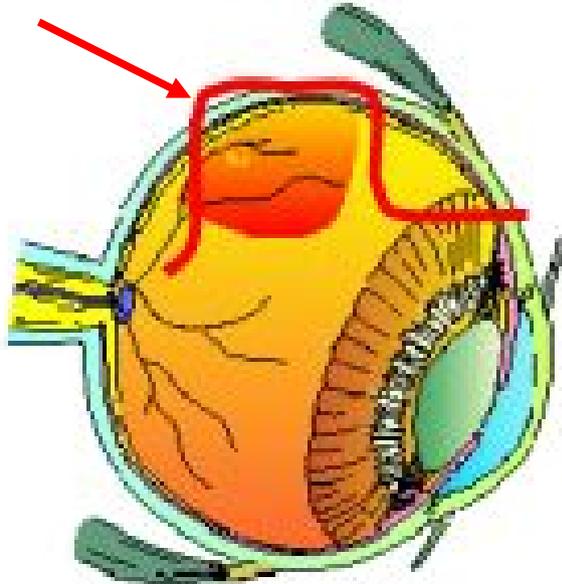
Sono adatti per terapie in profondità



**I protoni sono più difficili degli elettroni da produrre e accelerare  
Gli ioni pesanti molto molto di più.**

# Adroterapia: protoni e oltre

Zona irraggiata



**+ di 300 pazienti  
trattati**

**95% di guarigioni**

# Radioterapia Interna

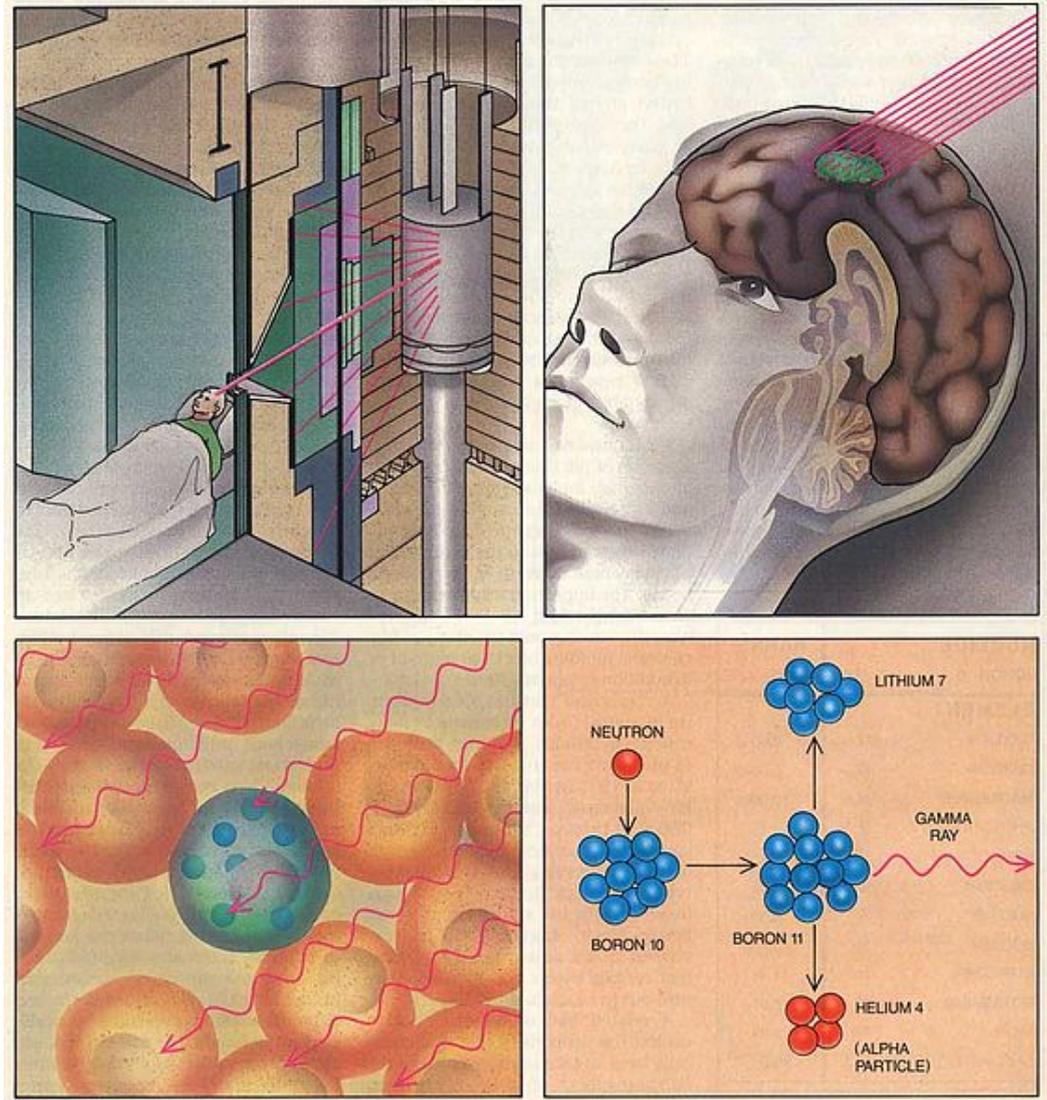
La **brachiterapia**, conosciuta anche come radioterapia interna, è una forma di radioterapia in cui una sorgente di radiazioni è collocata all'interno o vicino alla zona da trattare.



Ossia si impiantano in maniera temporanea o permanente i radionuclidi, spesso sotto forma di barrette o sferette metalliche presso o all'interno del tumore. Vengono rimosse dopo che è stata impartita la dose desiderata.

# Boron Neutron Capture Therapy BNCT

- 1) Trattamento con farmaco borato.
- 2) paziente portato presso una sorgente di neutroni (reattore nucleare)
- 3) irraggiamento per un tempo definito
- 4) paziente rimosso dalla sorgente



# Medicina Nucleare

L'approccio è ancora diverso:

*La radiazione ionizzante viene prodotta vicino o all'interno della singola cellula tumorale, per massimizzare la probabilità di danneggiamento dei tessuti malati, risparmiando il più possibile quelli sani.*

- *si ingloba un radionuclide in una molecola adatta;*
- *la si lega ad un vettore che la possa trasportare attraverso il sangue verso le cellule tumorali;*
- *il tutto deve essere legato ad una molecola che viene catturata dal tumore per essere utilizzata.*

