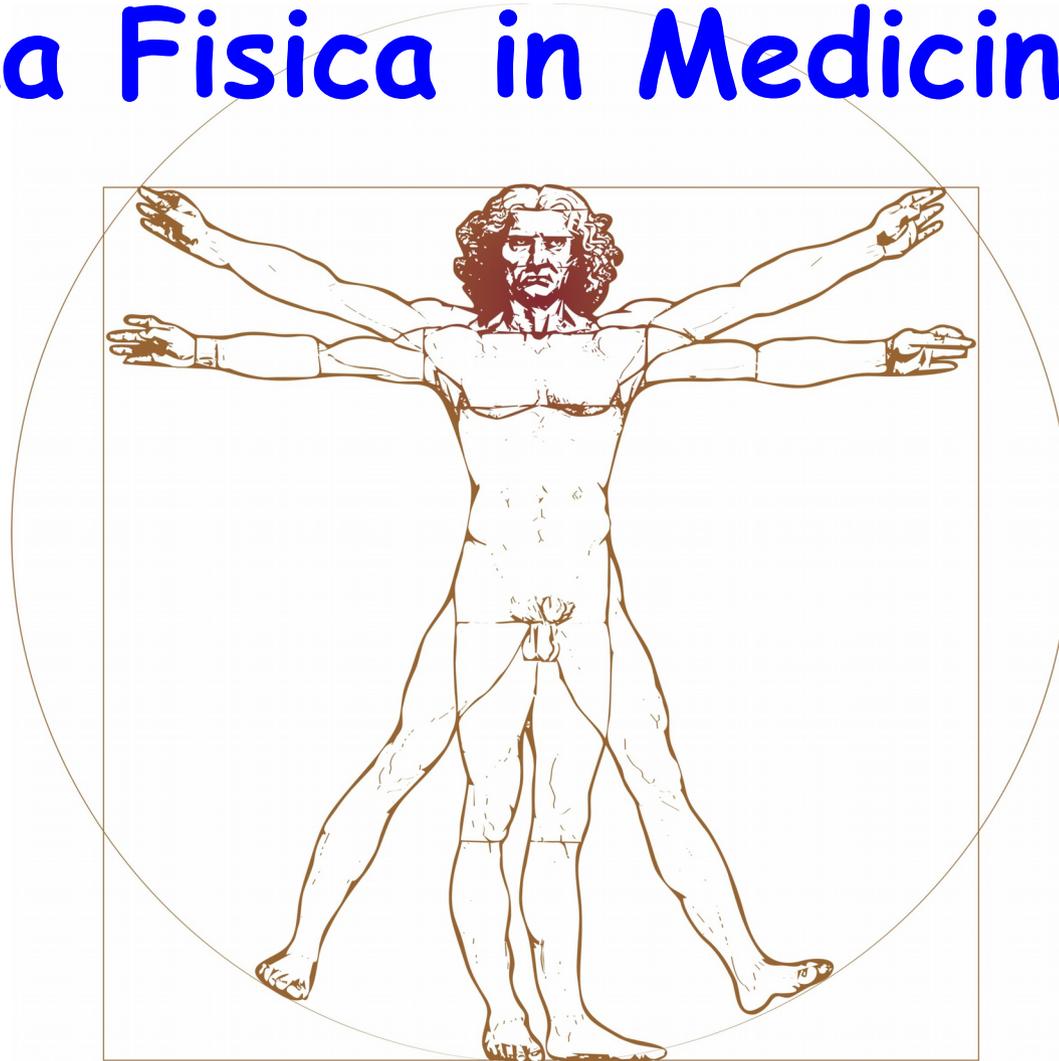




# La Fisica in Medicina

L. Servoli



## FACEBOOK:

- INFN: <https://www.facebook.com/IstitutoFisicaNucleare>
- Asimmetrie: <https://www.facebook.com/asimmetrieInfN>
- International Masterclass: <https://www.facebook.com/InternationalParticlePhysicsMasterclasses/>

## TWITTER:

- INFN: <https://twitter.com/UffComINFN>
- International Masterclass: <https://twitter.com/physicsIMC>

## INSTAGRAM:

- [https://www.instagram.com/infN\\_insights/](https://www.instagram.com/infN_insights/)

# La Fisica in Medicina

**I fondamenti:**

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

**Applicazioni:**

→ **Diagnostica;**

→ **Terapia;**



# 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

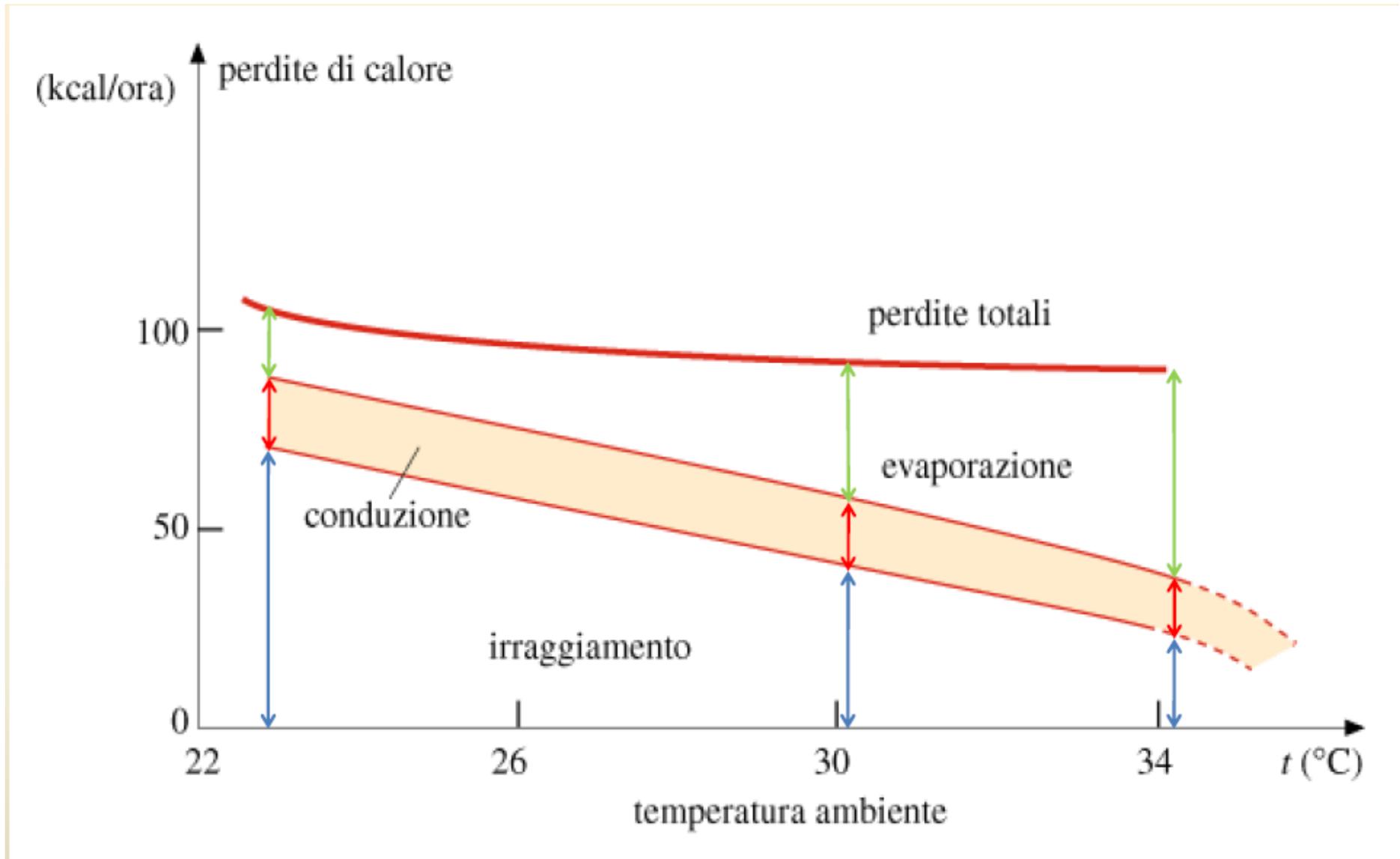
$H_c$ : calore dissipato per convezione

$H_i$ : 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
- 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

# 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.

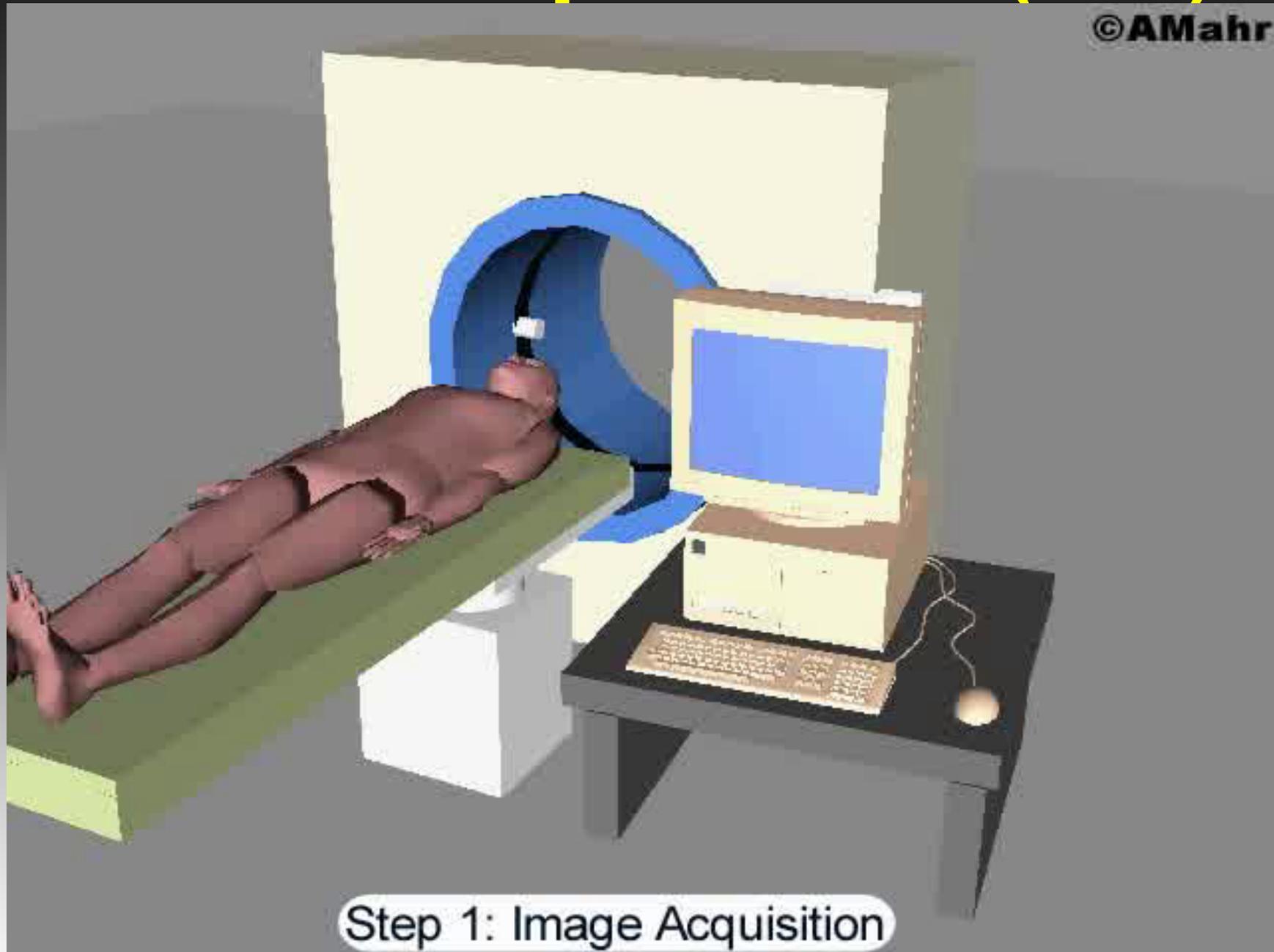


**Prima radiografia della storia:  
la mano della moglie di Roentgen**

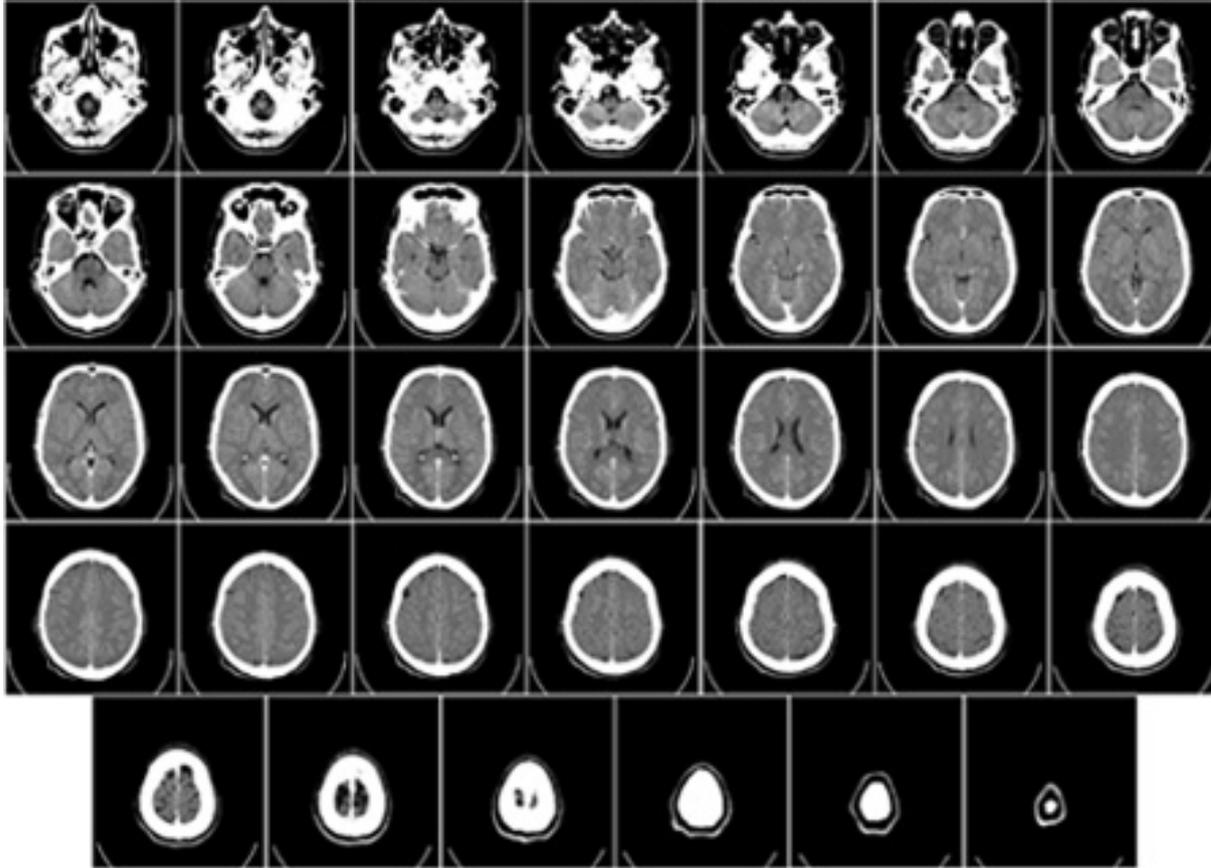


**Radiografia con rivelatori  
a semiconduttore**

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



# Tomografia Assiale Computerizzata



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

*Fondamentale la modellizzazione matematica, gli algoritmi e l'uso dei computer.*

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

DFOV 19.0 cm  
STANDARD  
731/4

R  
P  
S

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



IAR

DFOV 19.0 cm  
STANDARD  
731/5

R  
P  
S

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

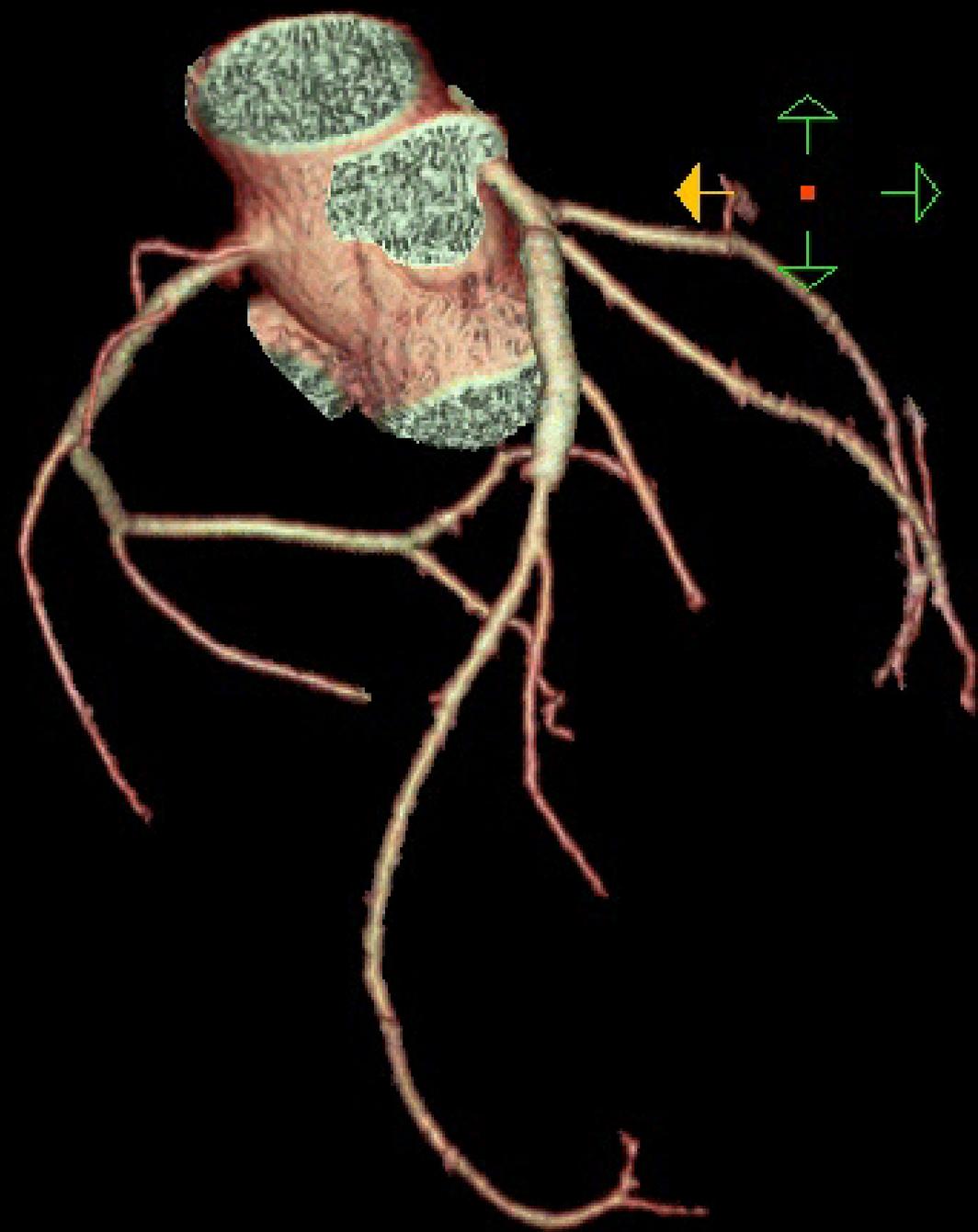


Ex:  
Se: 253  
Im: 1

VCT CINE 12031 LAD stent

Sep 26 2006  
04:37:41 PM

# La TAC in cardiologia



# Applicazioni Avanzate:

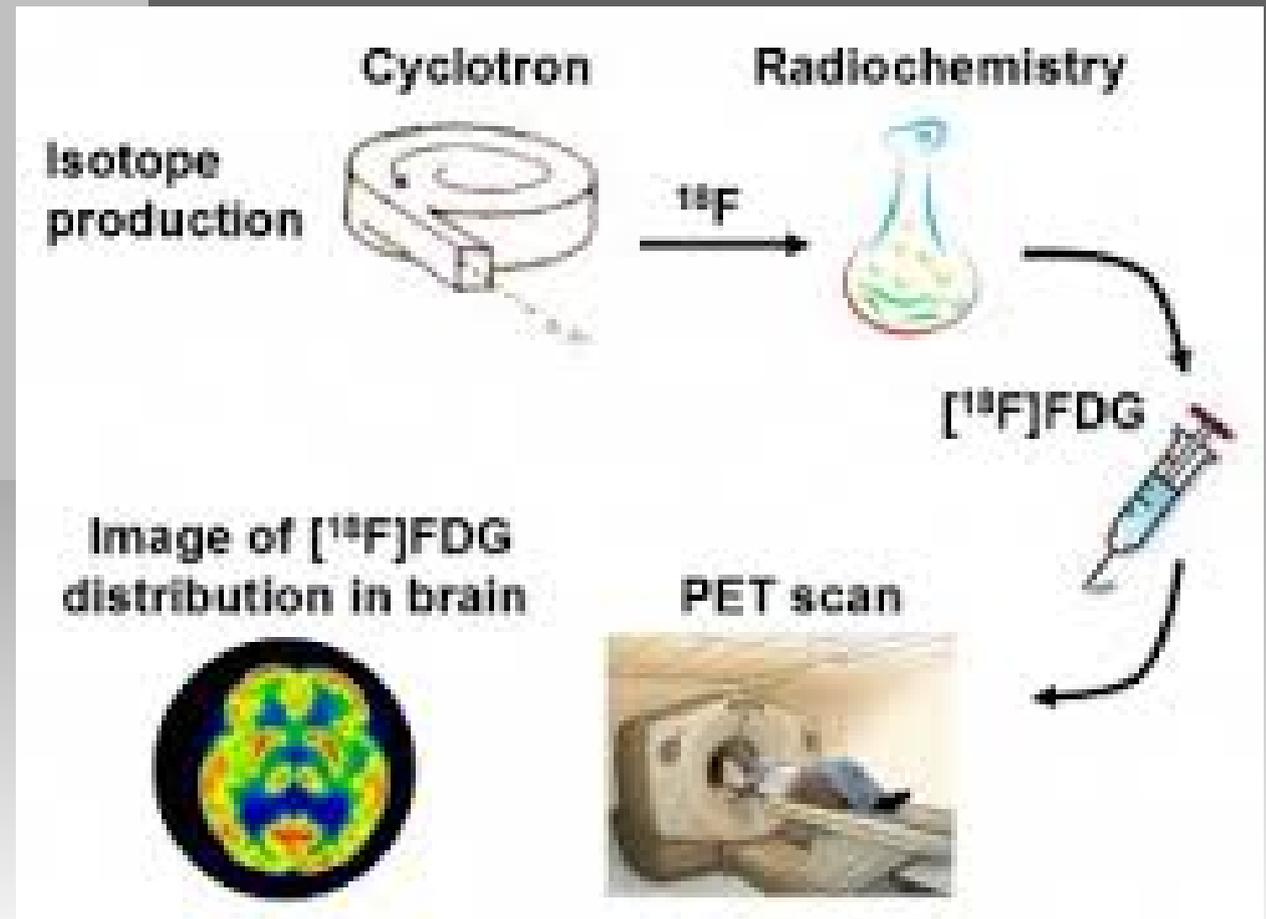
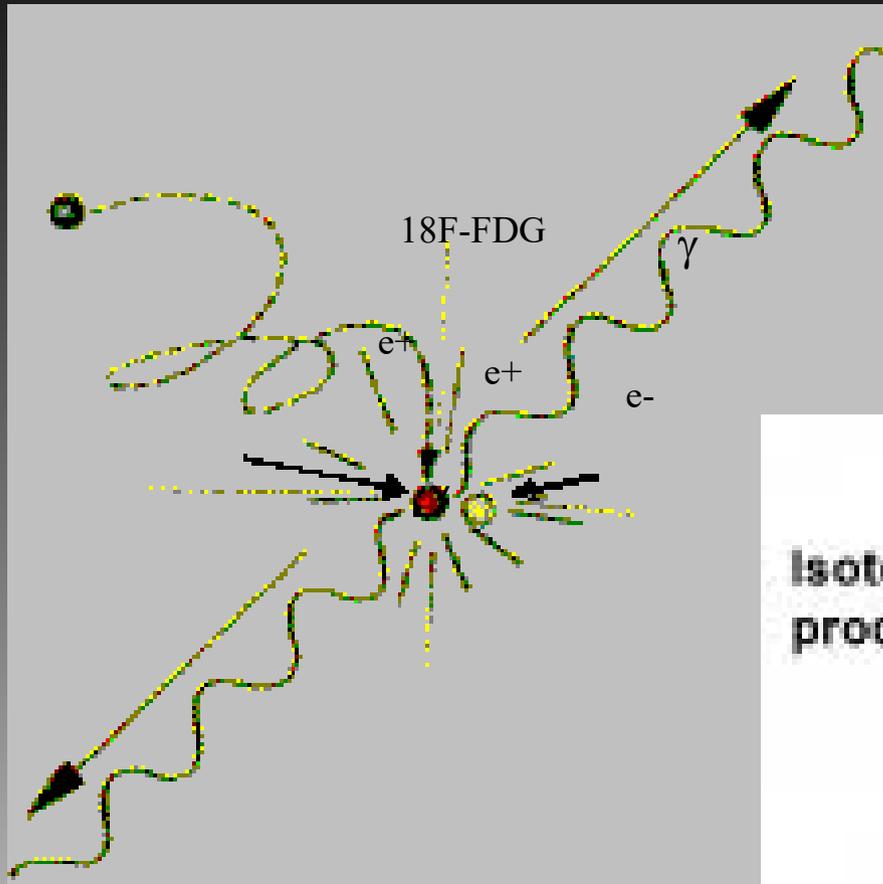
**Tecniche non invasive e risposta in tempo reale**

***Implicano vari livelli di competenza:***

- teorico (interazione segnale fisico con corpo umano, sensori);***
- sensoristica;***
- trattazione del segnale;***
- acquisizione dati;***
- analisi dei dati (spesso in tempo reale) inclusa algoritmica;***
- simulazione di apparecchiature, sensori e tessuti umani;***
- validazione delle simulazioni con misure reali;***
- immagazzinamento e preservazione dei dati***

**Intendici in linea con altri settori della scienza**

# Tomografia ad emissione di positroni (PET)



# Cosa c'è dietro la PET?

## *1) Produzione radioisotopo: il processo:*

*A) Produzione ioni (proiettile) : di solito  $^1\text{H}^-$  o  $^2\text{H}^-$*

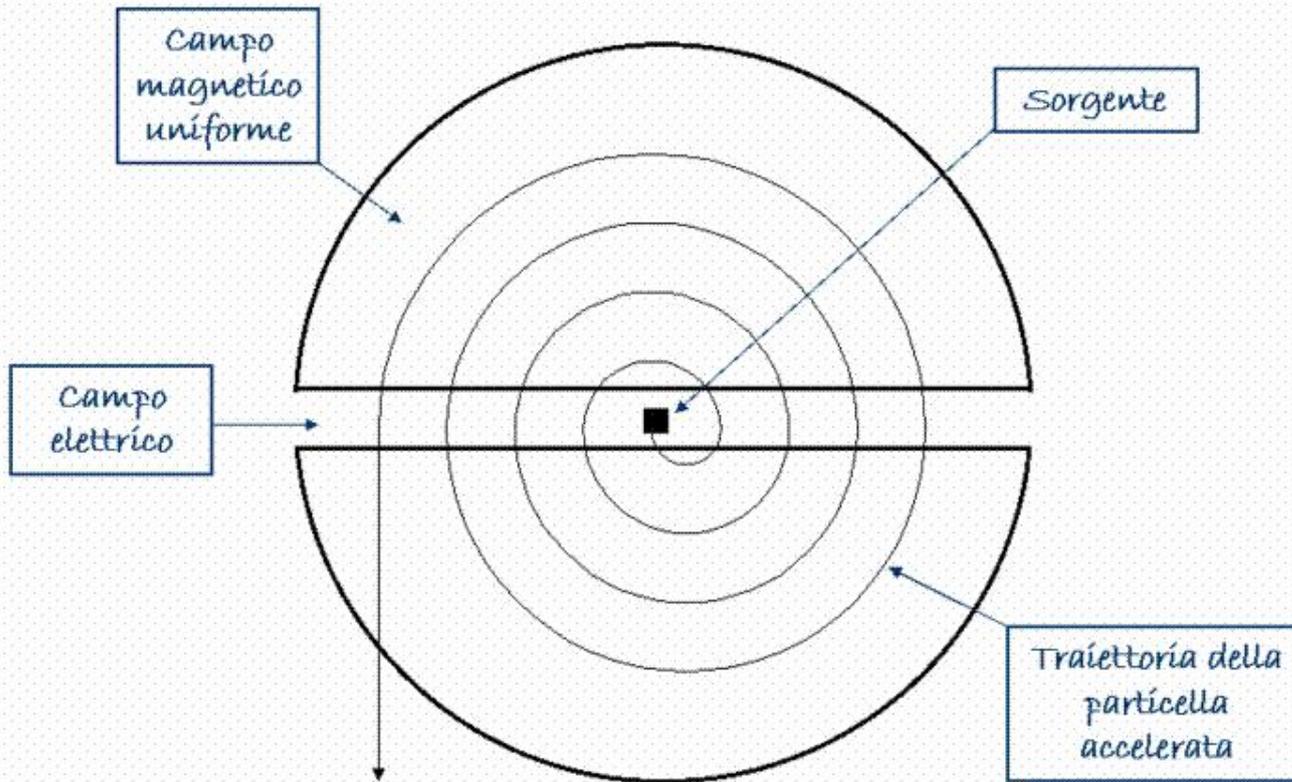
*B) Accelerazione degli ioni (ciclotrone)*

*C) Estrazione degli ioni dalla camera a vuoto*

*D) Urto ioni con bersaglio per produzione radioisotopi*

# Cosa c'è dietro la PET?

## B) accelerazione ioni : *Ciclotrone*

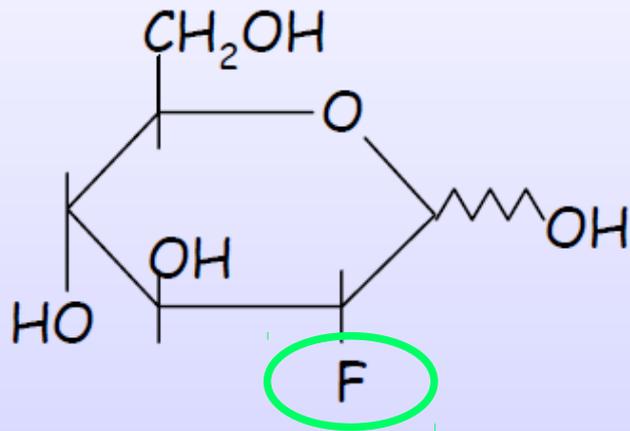


**Campo elettrico  
alternato  
(accelerazione)  
[Forza di Coulomb]**

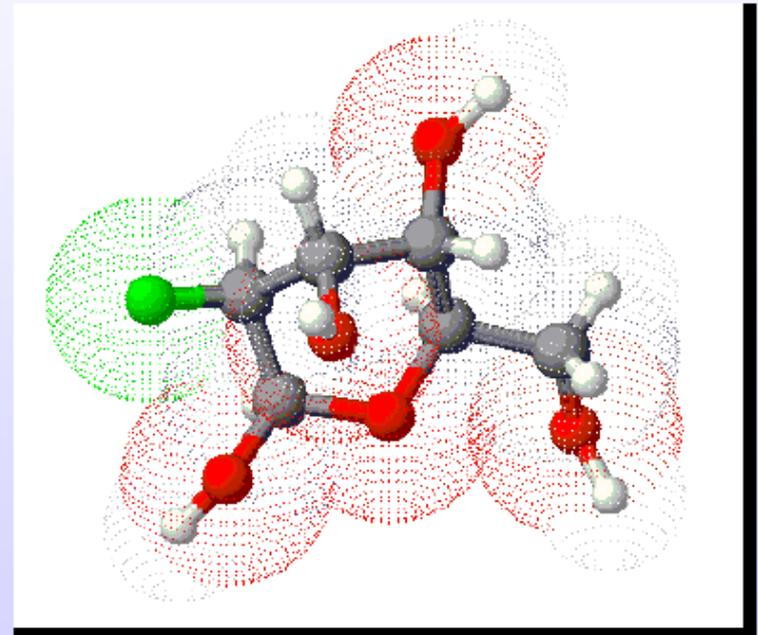
**Campo magnetico  
uniforme  
(contenimento)  
[Forza di Lorentz]**

# Cosa c'è dietro la PET?

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

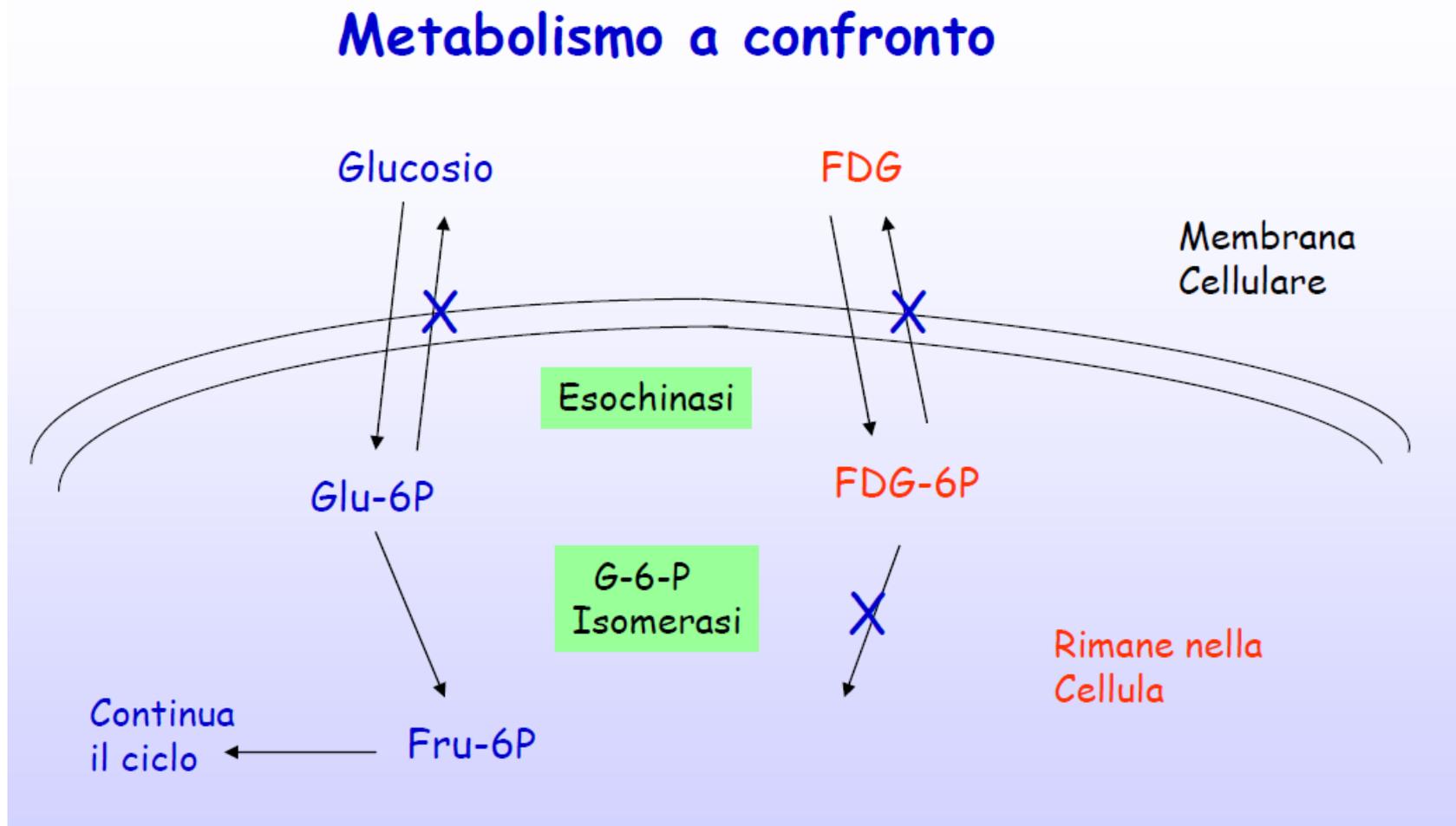


FDG: Fluoro-Desossi-Glucosio



# 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;*

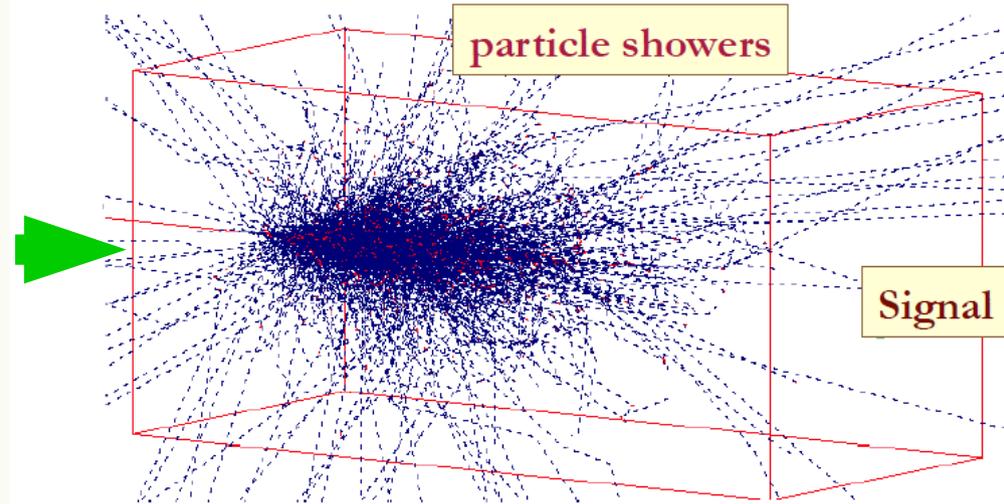
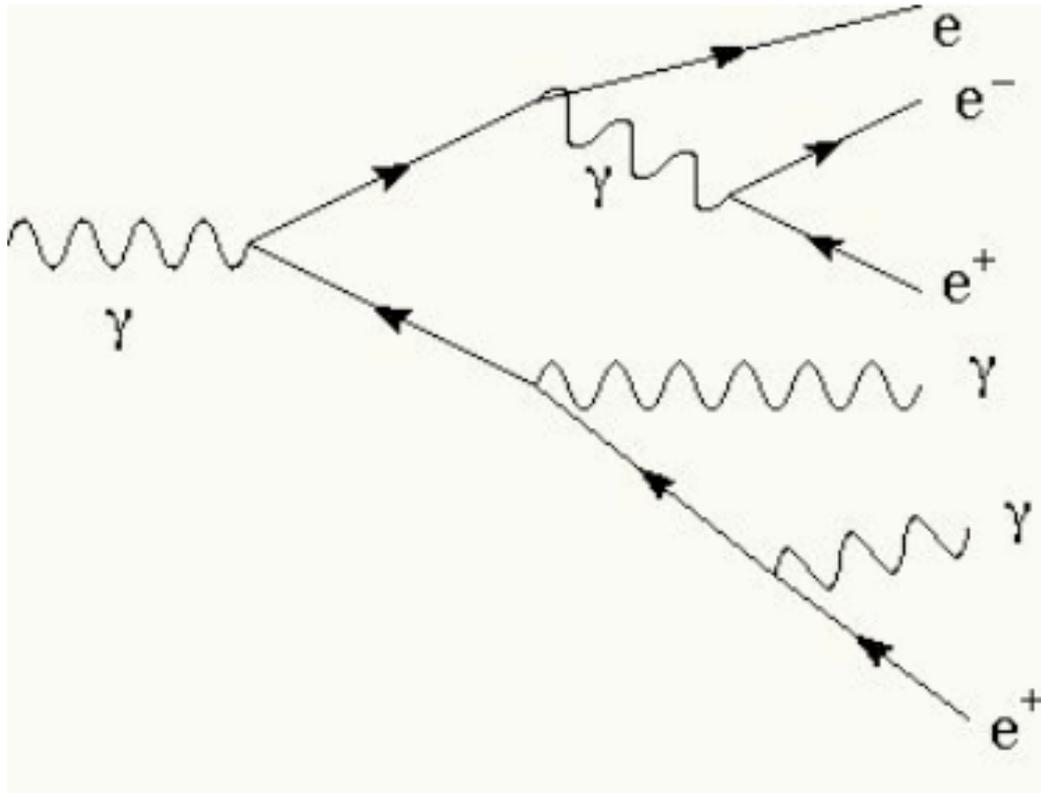
→ *Ossigeno rimane ma non dà problemi*

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

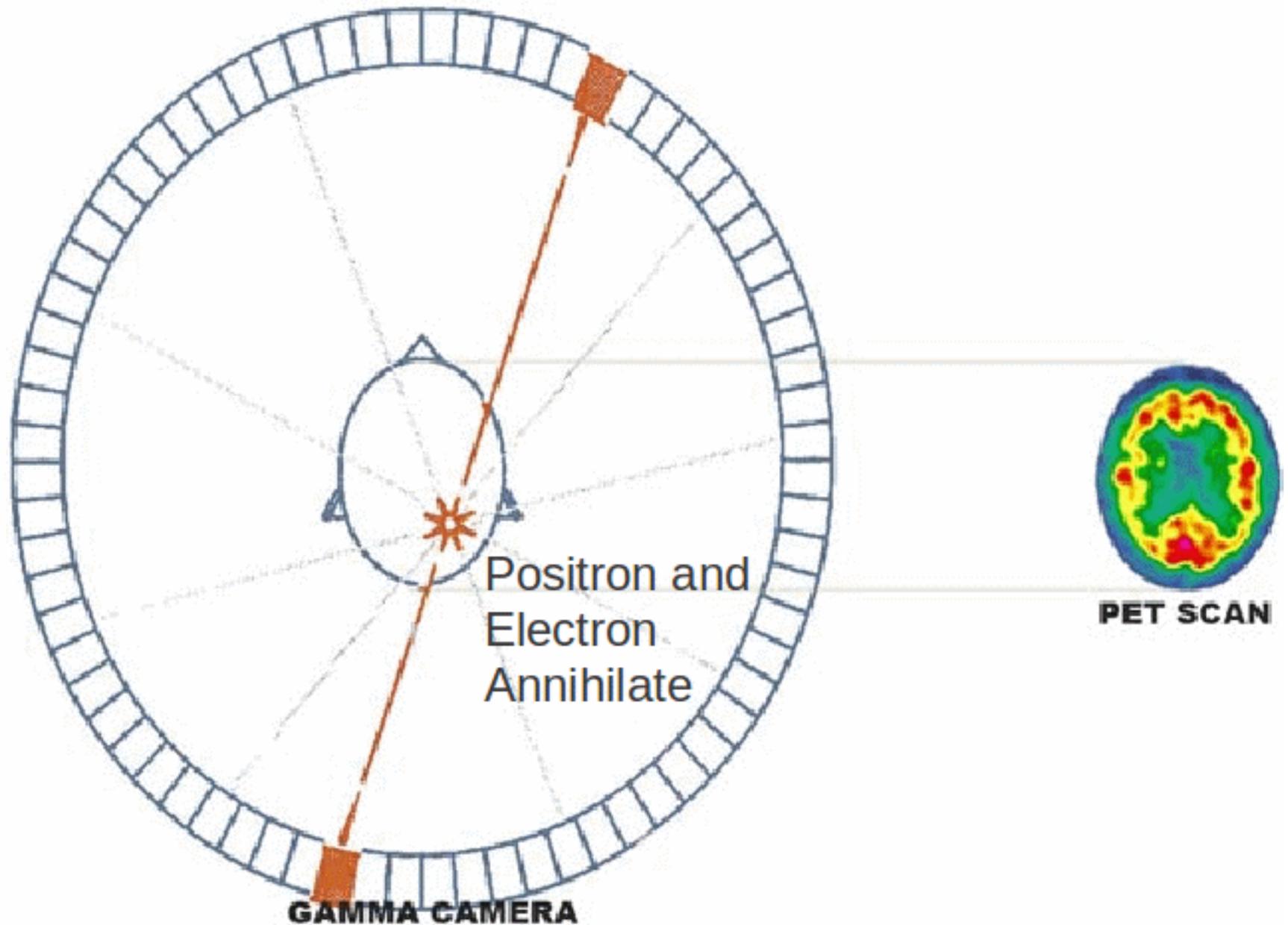
# Cosa c'è dietro la PET?

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.*

# Applicazioni Avanzate: Terapia

Per fare terapia occorre comunicare energia.

Quindi il problema è duplice:

1) comprendere l'effetto fisiologico che deriva dalla somministrazione di energia;

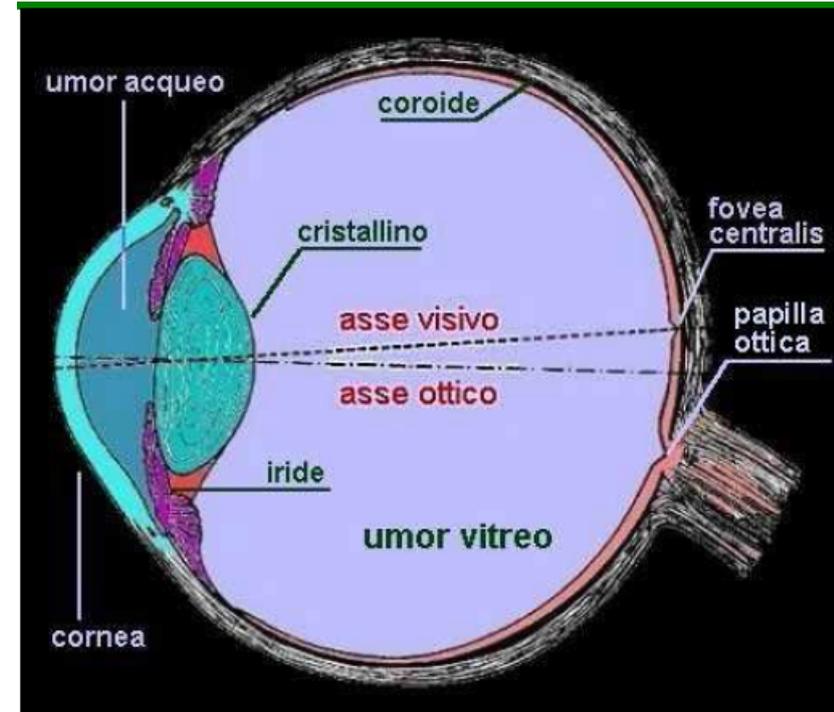
2) scegliere il modo di comunicare l'energia nei tessuti giusti per ottenere l'effetto desiderato.

# Terapia basata su principi fisici

→ Chirurgia via laser,  
elettrocoagulazione, etc.  
(correzione difetti cristallino)

→ Fisioterapia (magnetoterapia,  
crioterapia, etc..)

→ **Terapia oncologica;**



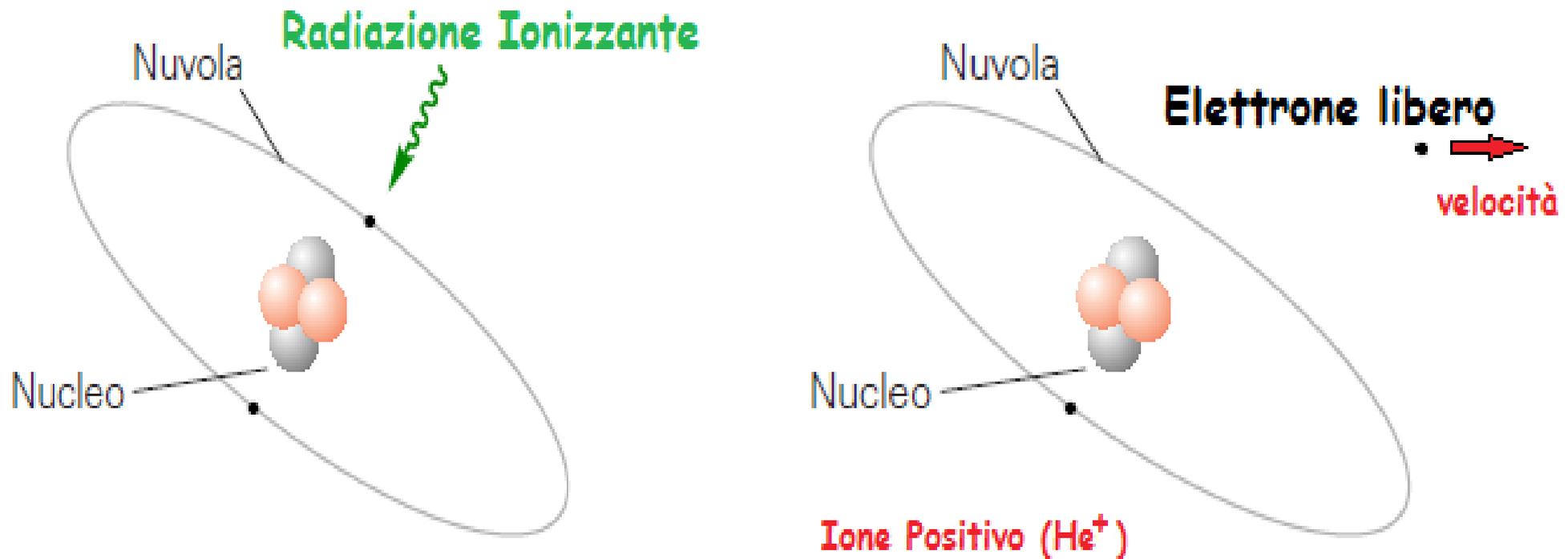
# Terapia Oncologica

Il problema della terapia oncologica:

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

# Le radiazioni ionizzanti

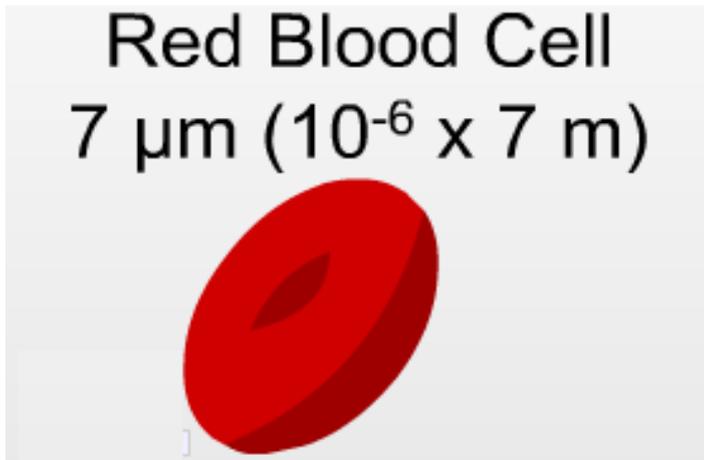
Sono **"particelle"** che interagendo con un materiale sono capaci di rompere i legami atomici liberando elettroni.



**Esempio: 1 fotone X da 6 keV produce circa 1700 rotture di legami all'interno di un pezzo di silicio, in un volume di circa  $1 \mu\text{m}^3$ .**

# L'importanza dell'energia

Supponiamo che invece il materiale sia biologico... tessuto umano.



**Stiamo modificando moltissimi legami  
in un volume molto limitato.**

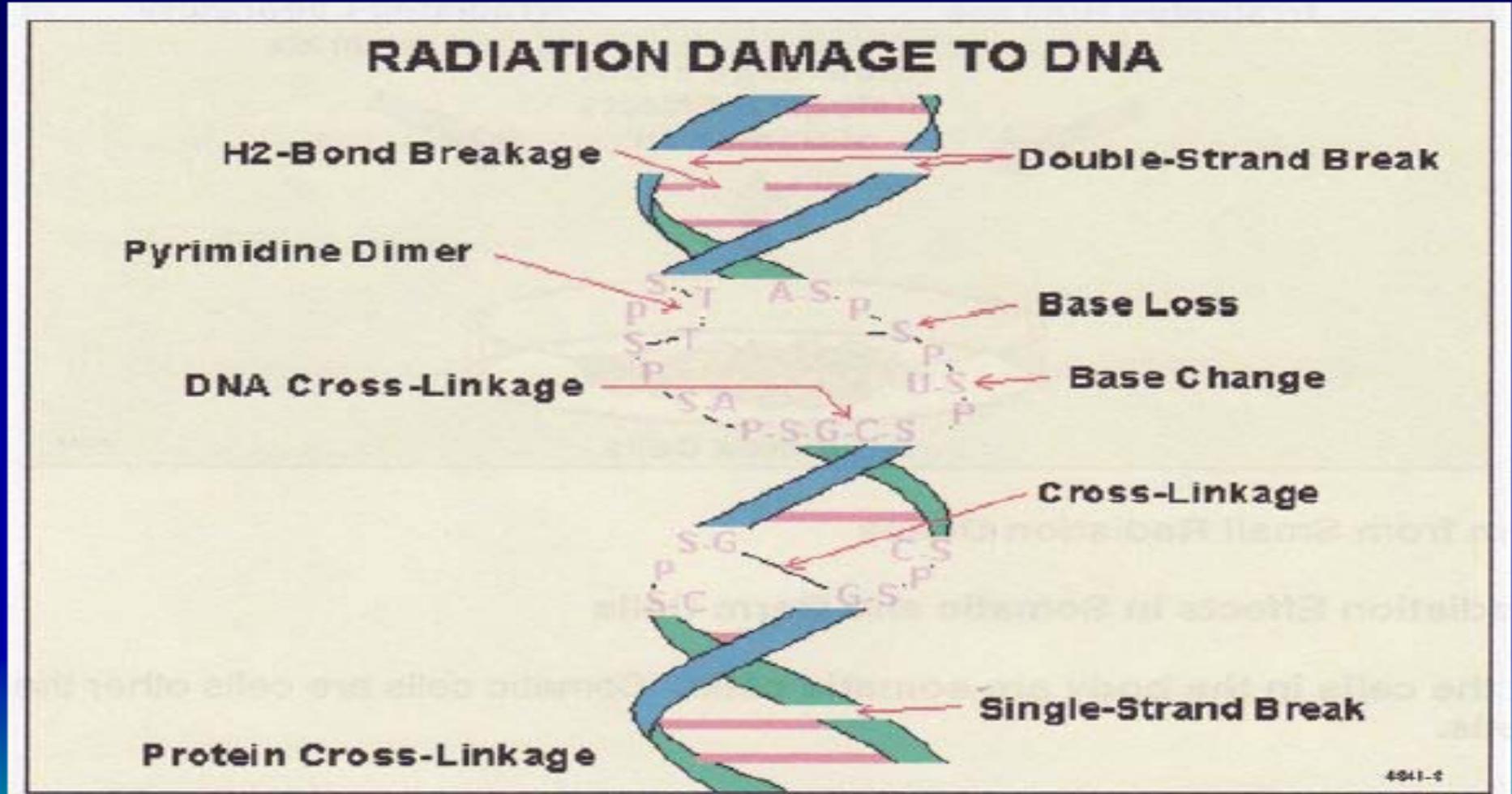
Qual'è l'effetto?

Si generano particolari composti chimici (**radicali liberi**) che se presenti in maniera squilibrata rispetto al normale fabbisogno dell'organismo possono generare alterazioni e danni.

Esempio: **danneggiamento del DNA ==> insorgenza di tumori.**

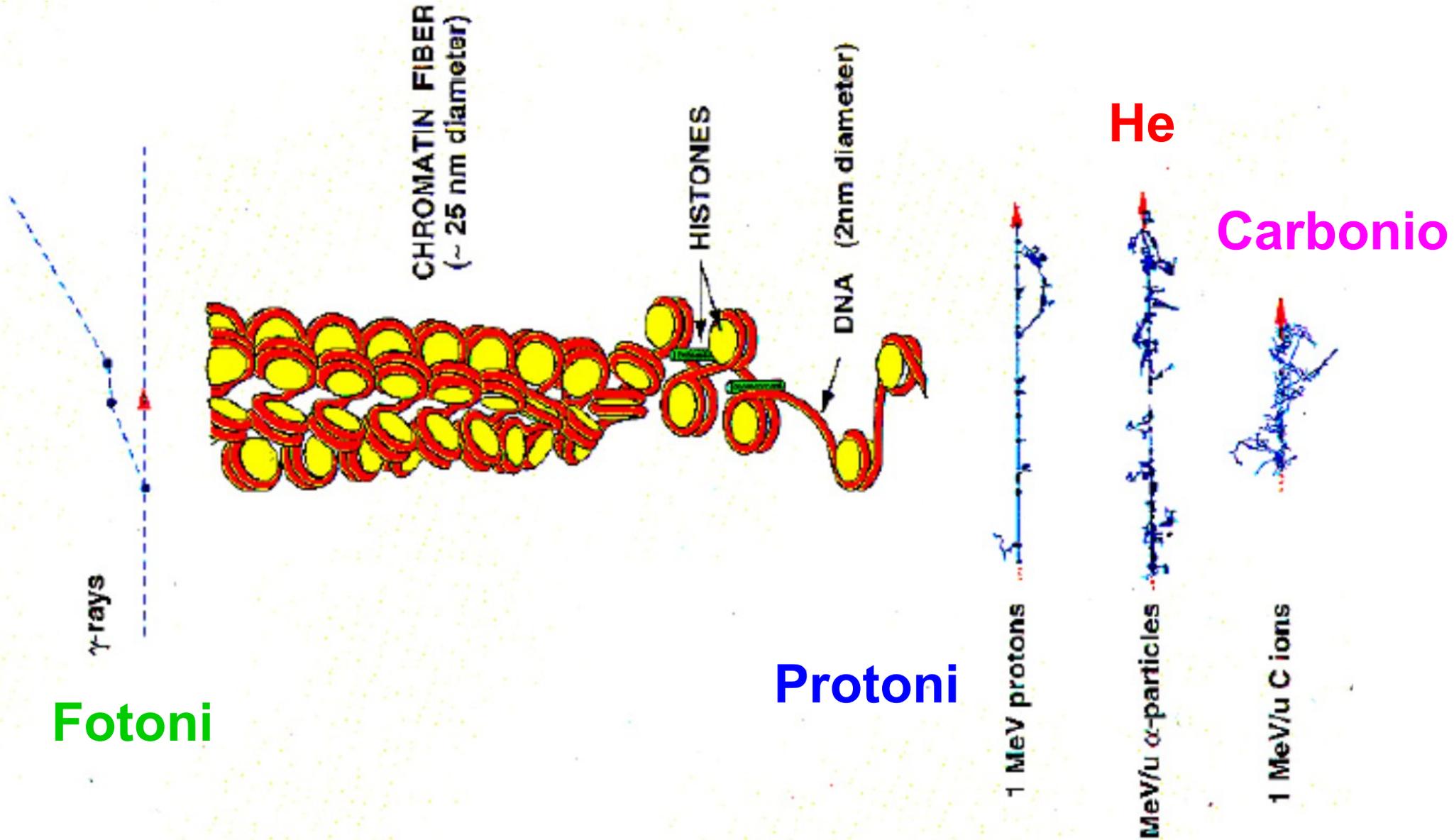
# Effetti sul DNA

## Damage to DNA



Strand breaks in DNA may be initiated by low energy electrons

# Adroterapia

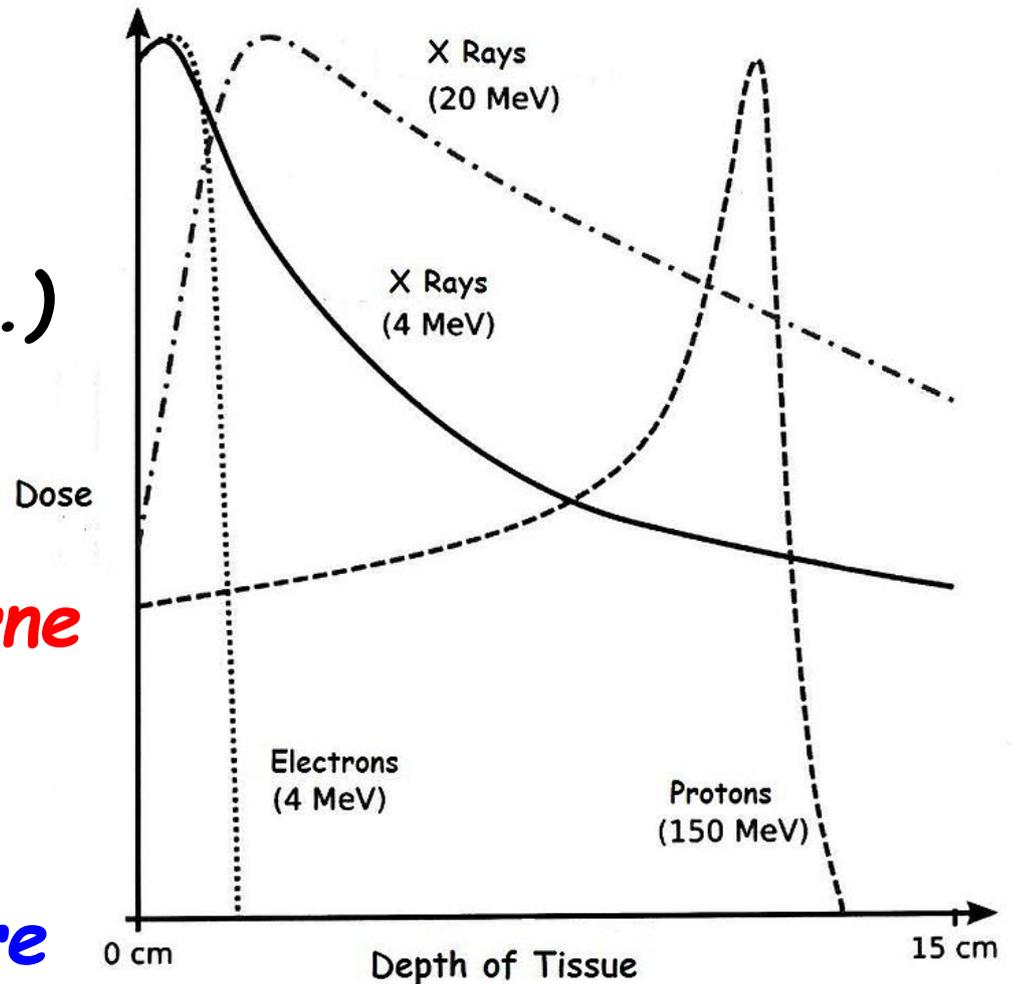


# Terapia Oncologica

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

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

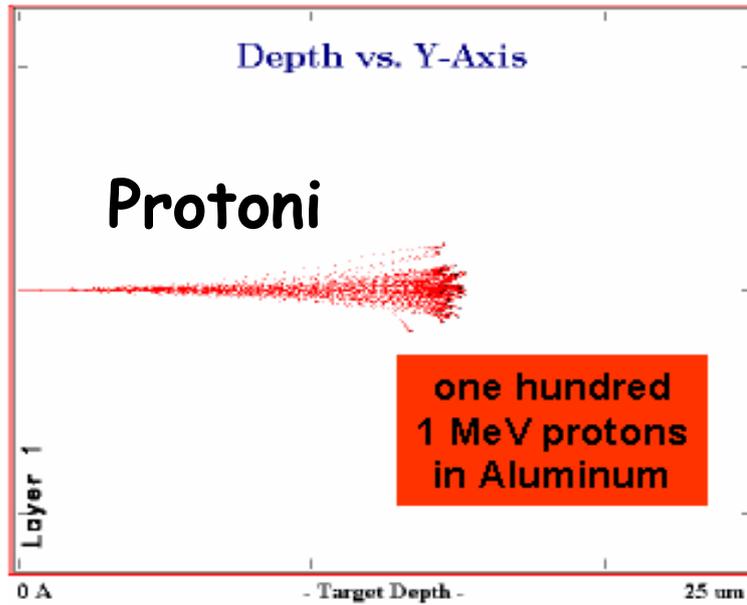
**→ per raggiungere il tumore occorre attraversare altre parti sane del corpo.**



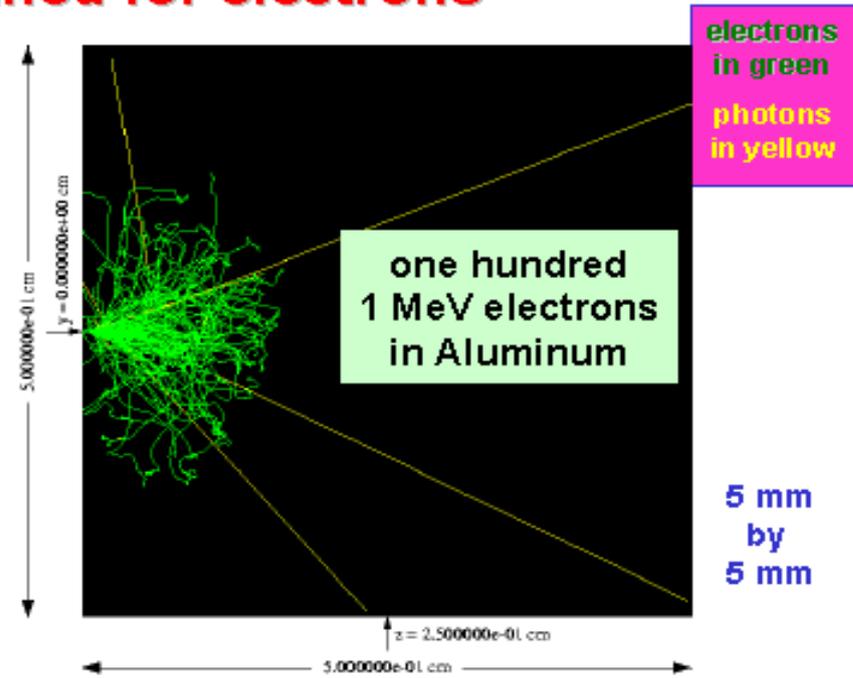
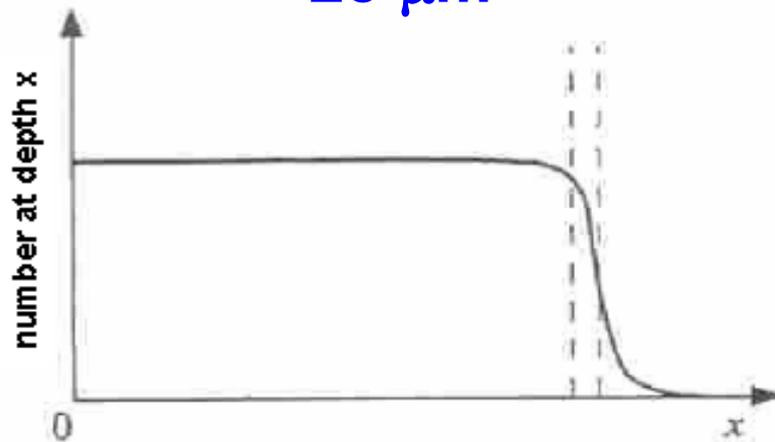
# Terapia Oncologica: elettroni

physical quantities

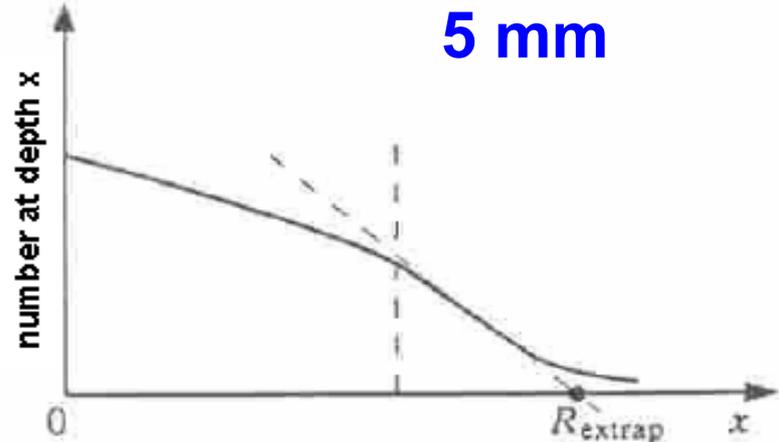
range not well defined for electrons



25  $\mu$ m



5 mm

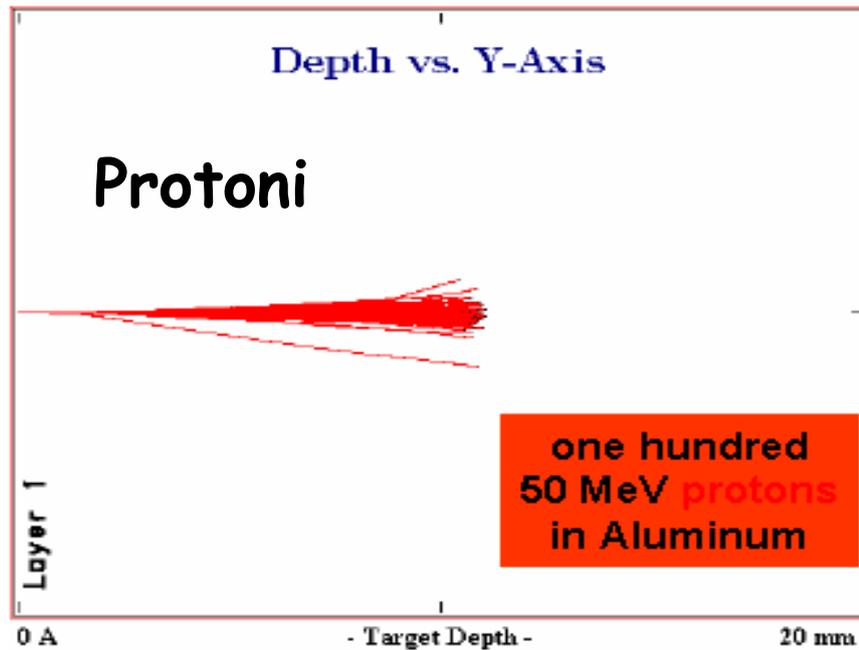


# Terapia Oncologica: elettroni

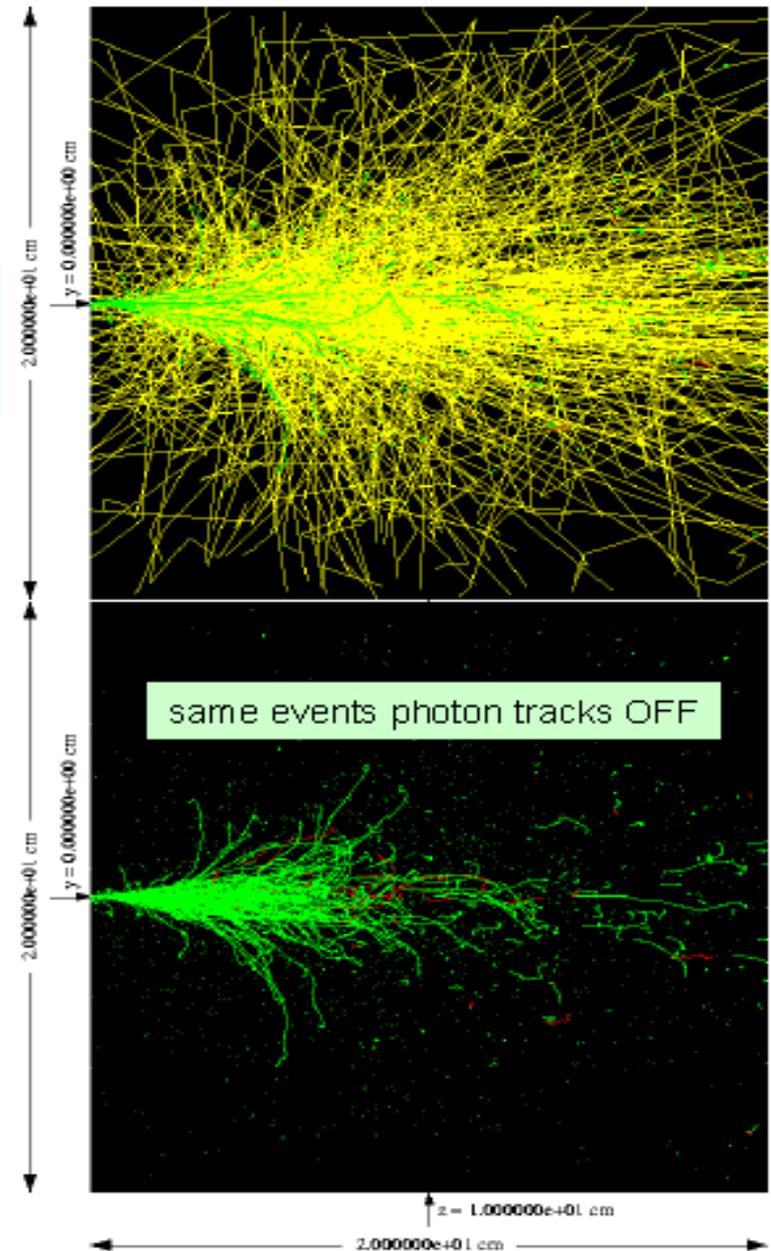
radiation

electrons lose energy  
also by radiation

one hundred  
50 MeV **electrons**  
in Aluminum



20 mm



200 mm

# 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.**



# La Radiocirurgia Stereotassica (RCH)



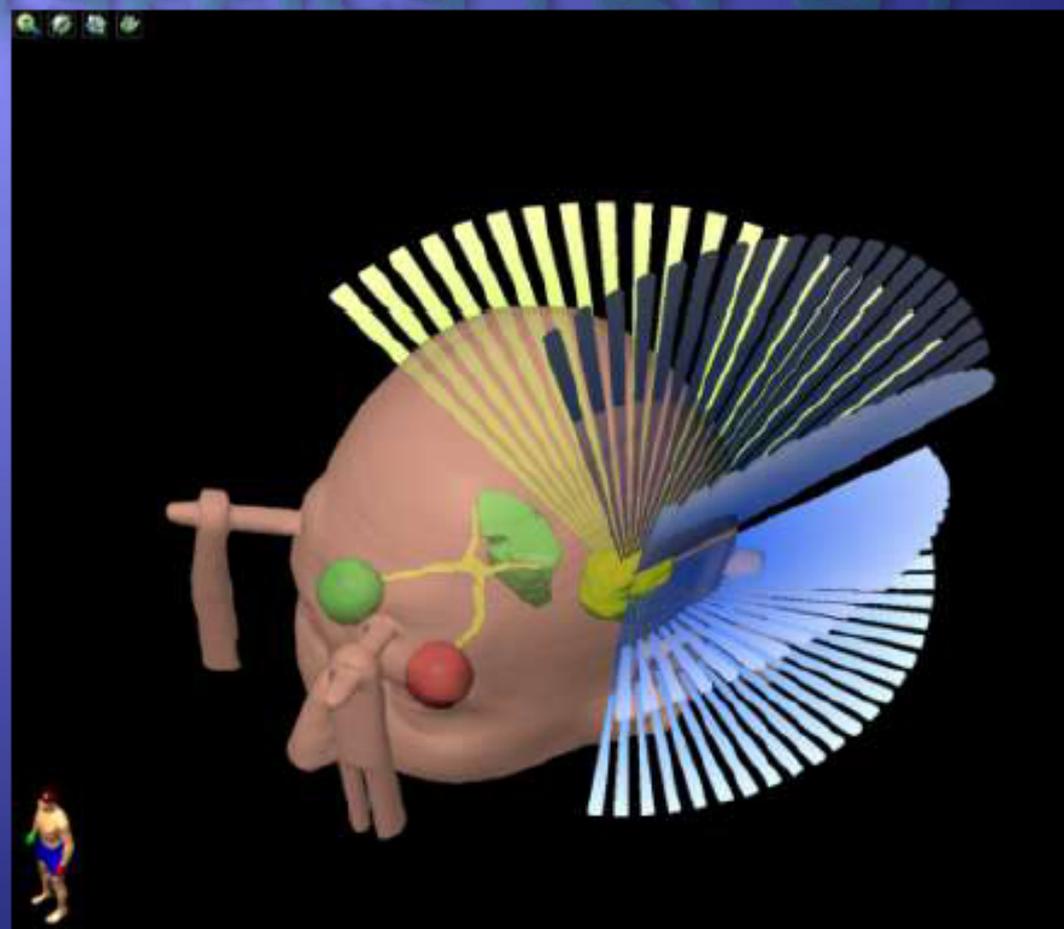
*Ospedale Salliera  
di Genova*

# La Radiochirurgia Stereotassica (RCH)



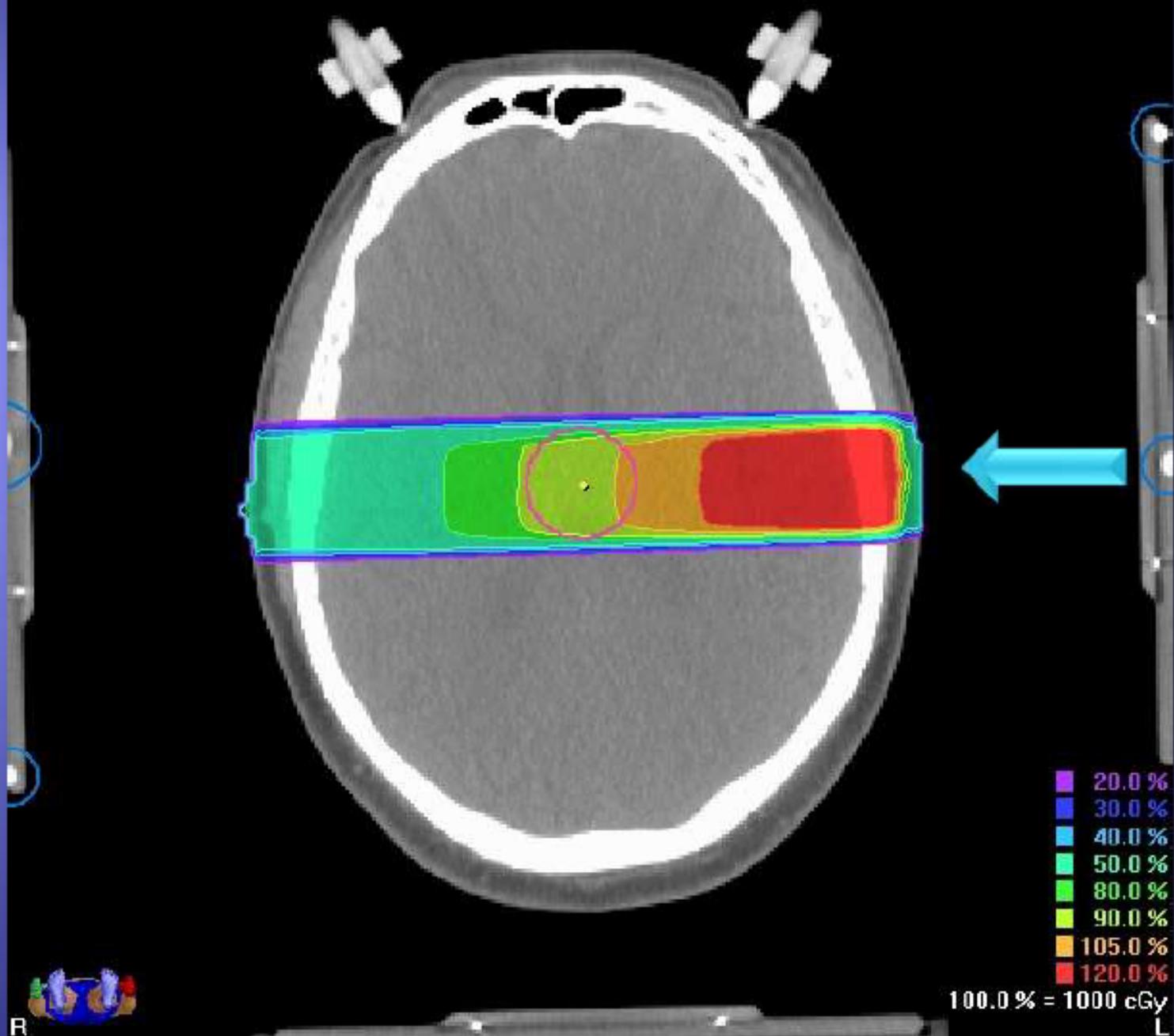
*Ospedale Salliera  
di Genova*

# La Radiochirurgia Stereotassica (RCH)

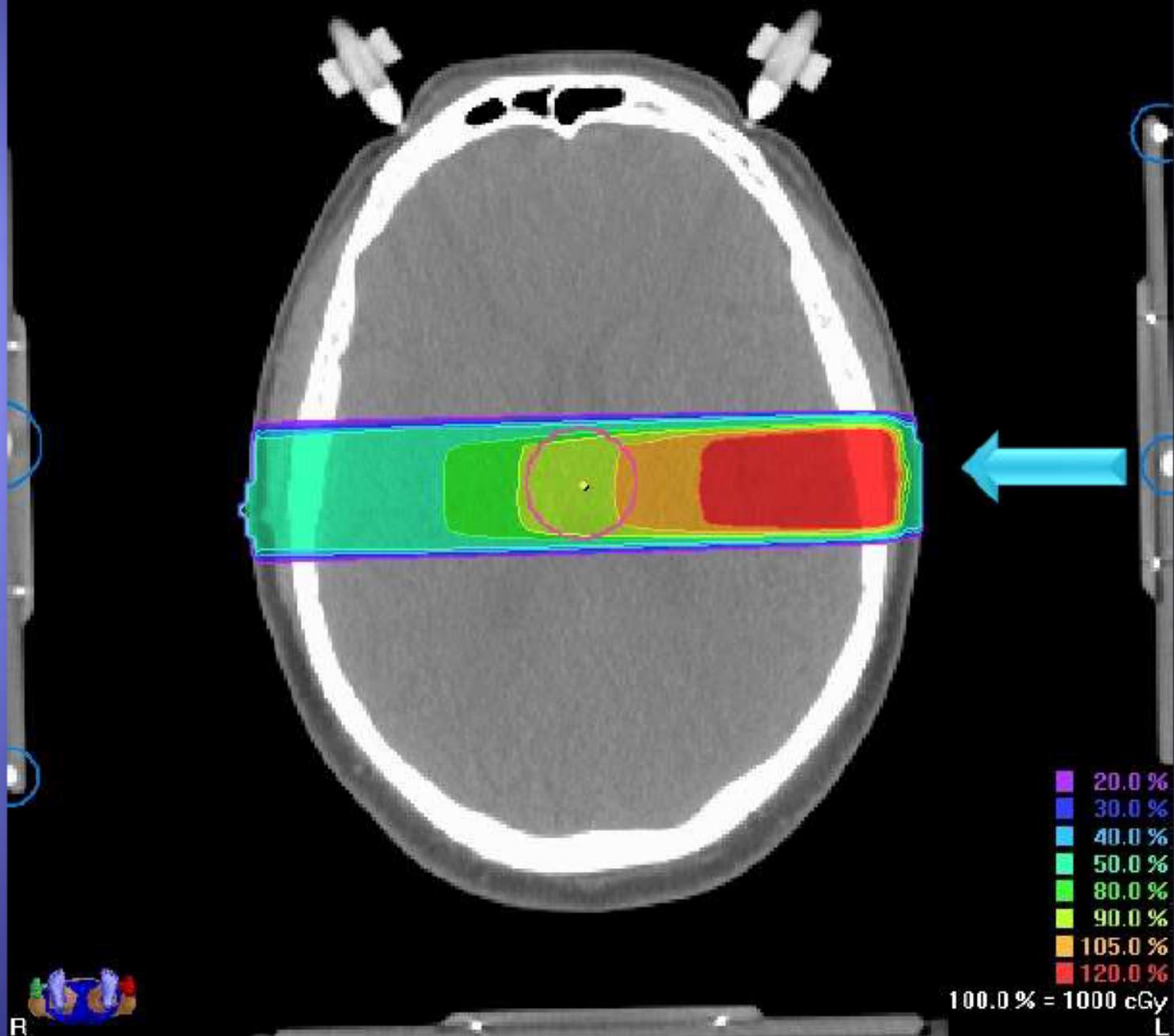


*Ospedale Salliera  
di Genova*

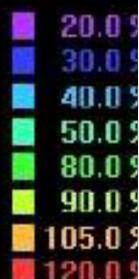
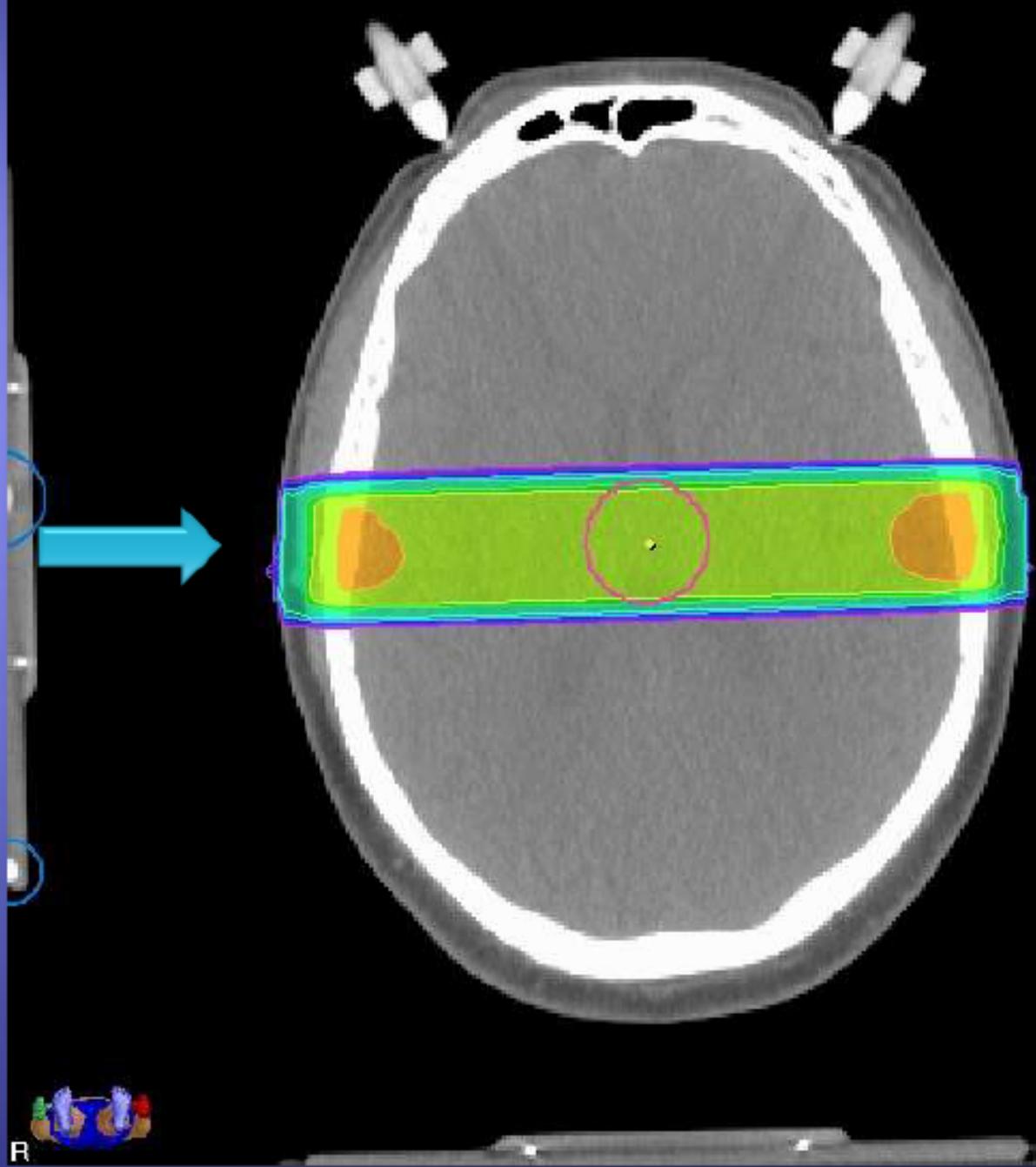
1 fascio  
da 6 MV Lat-Sn



1 fascio  
da 6 MV Lat-Sn



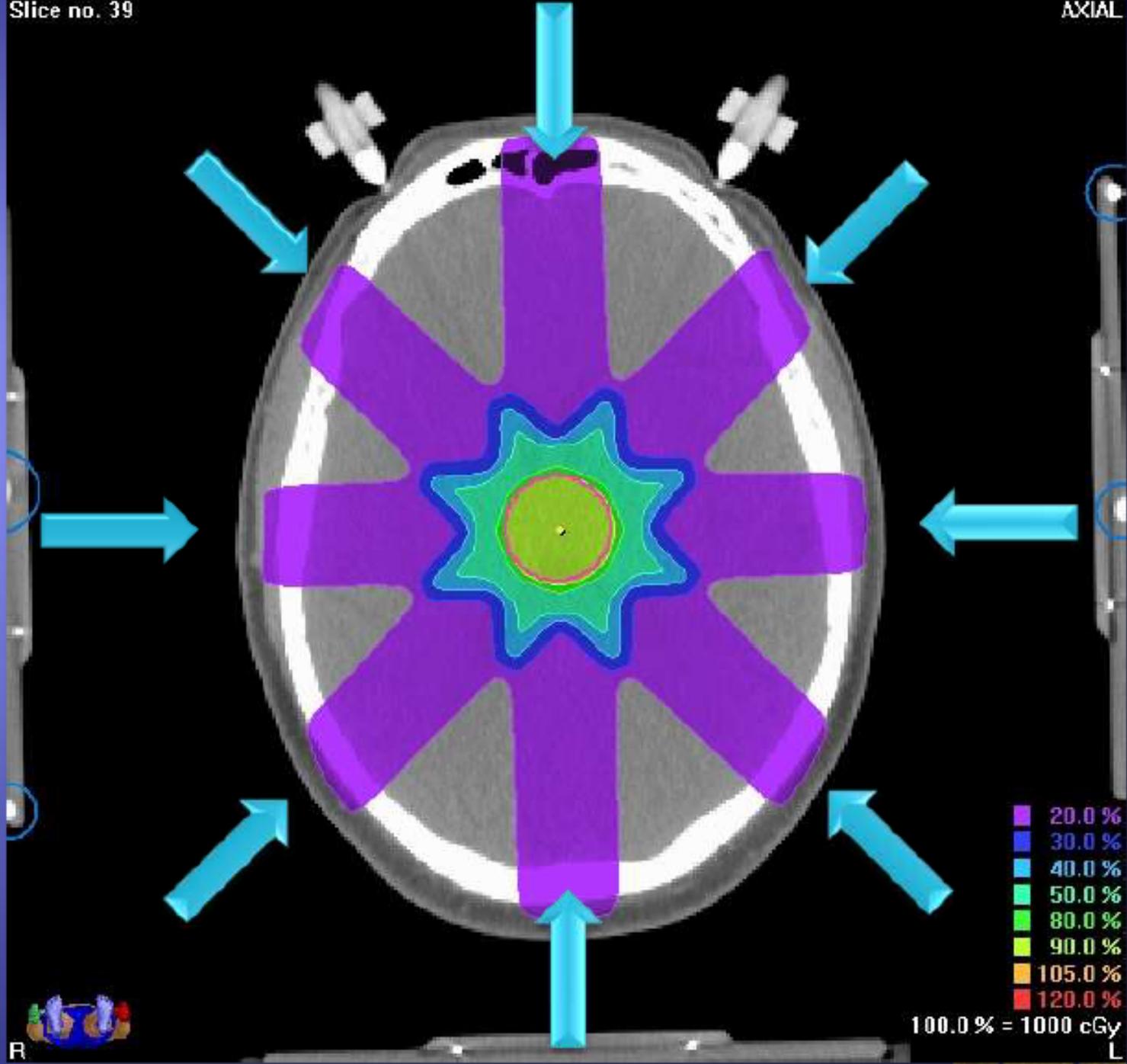
2 fasci  
contrapposti  
Lat-Lat



100.0 % = 1000 cG



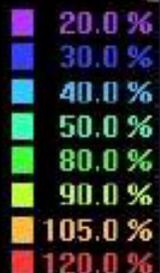
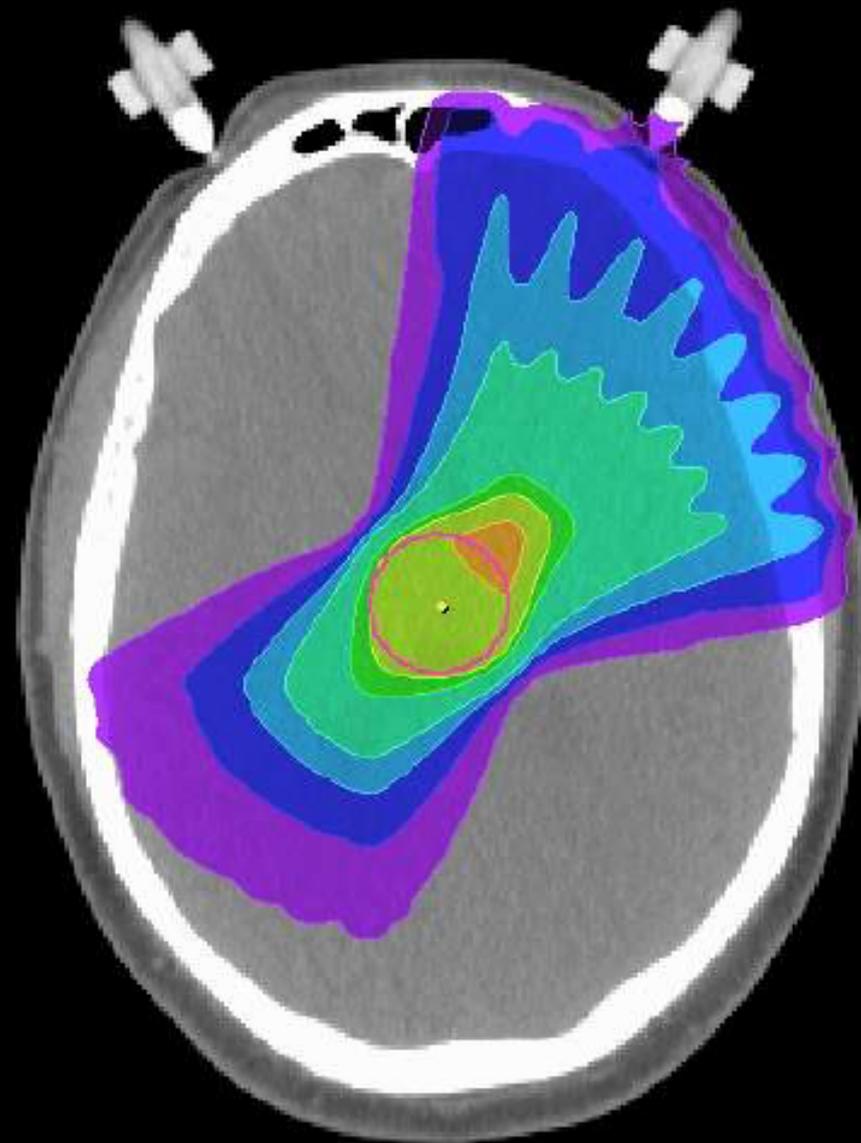
8 fasci



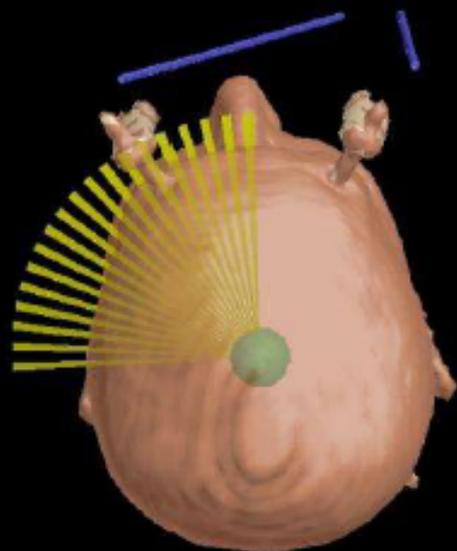
R



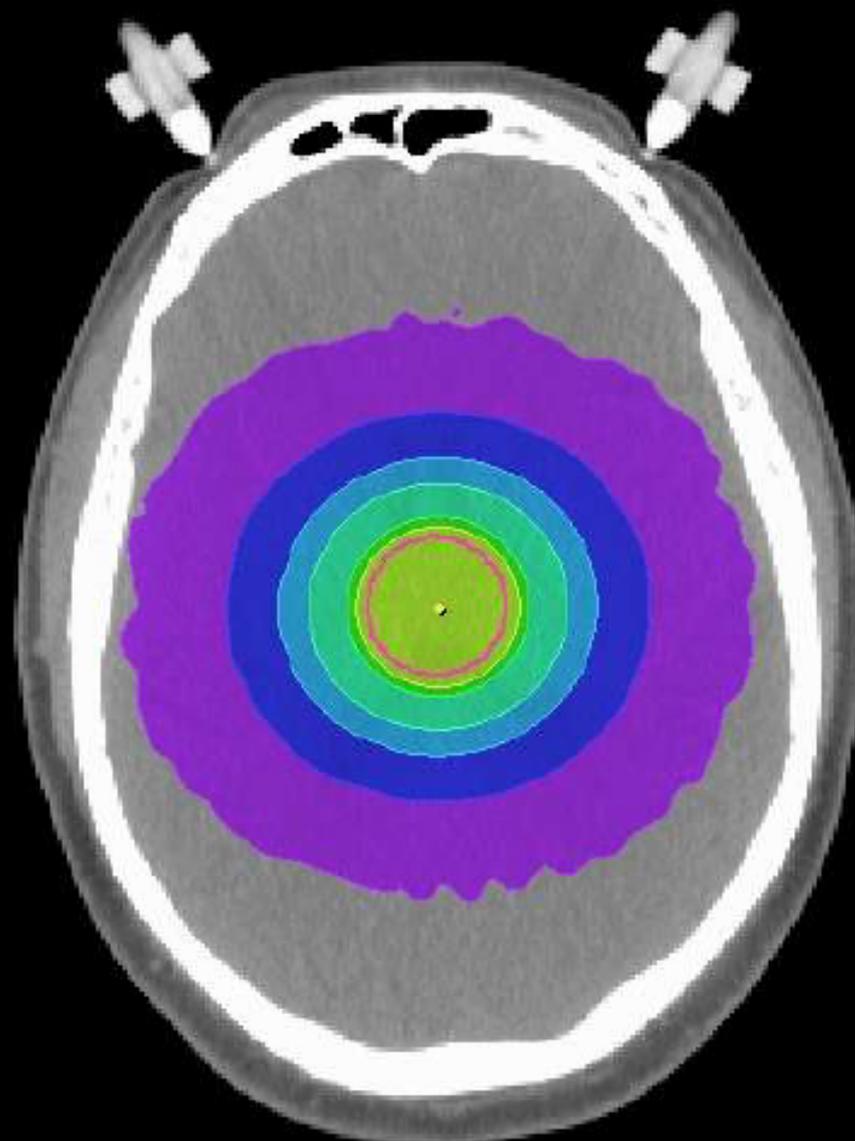
1 arco  
(0° ÷ 90°)



100.0 % = 1000 cGy

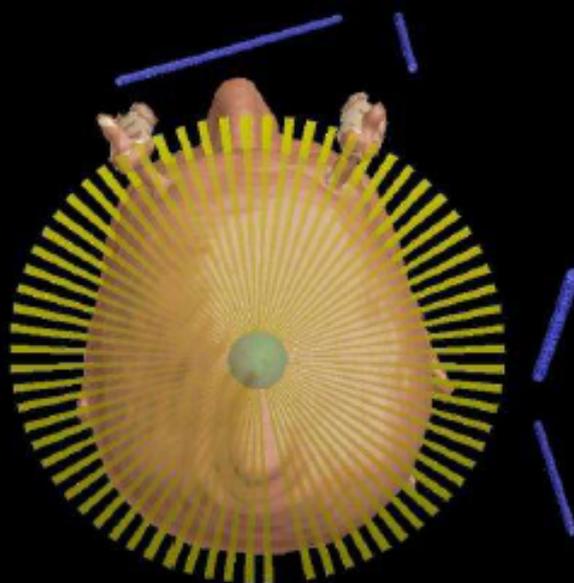


1 arco  
(0° ÷ 360°)

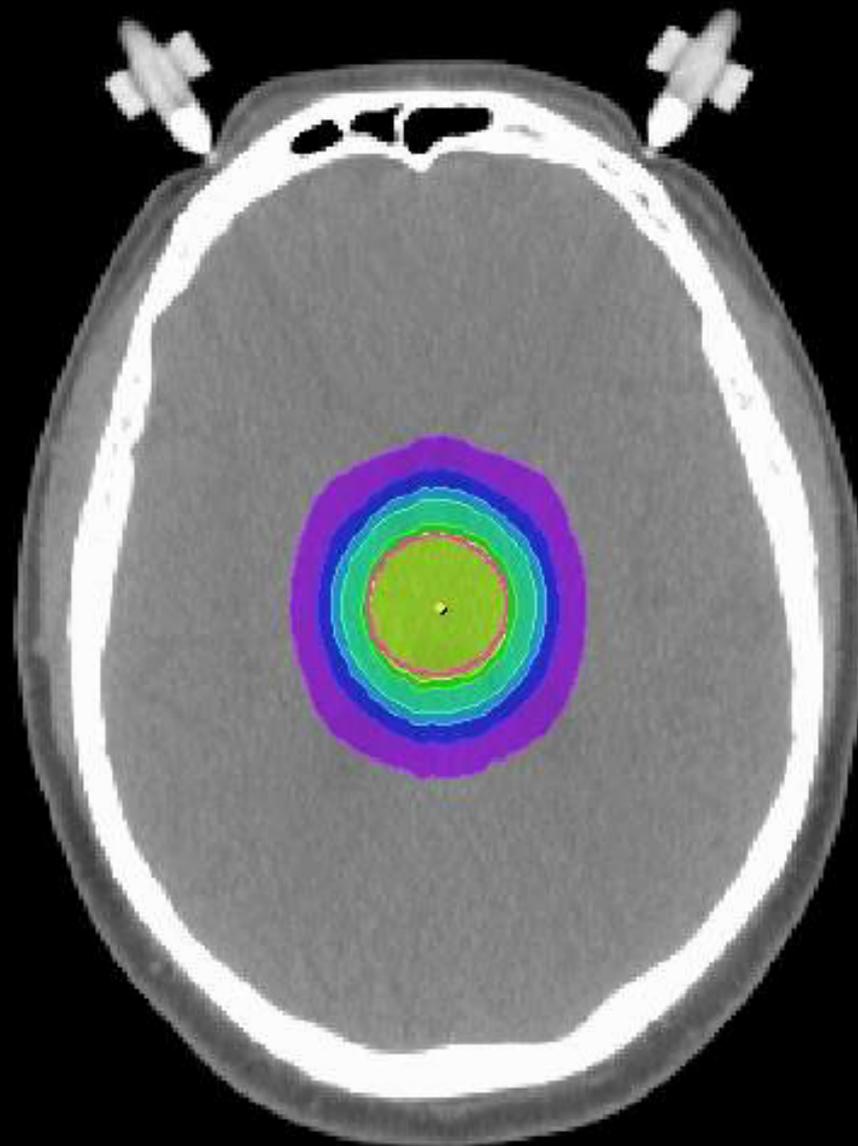


- 20.0 %
- 30.0 %
- 40.0 %
- 50.0 %
- 80.0 %
- 90.0 %
- 105.0 %
- 120.0 %

100.0 % = 1000 cGy  
L

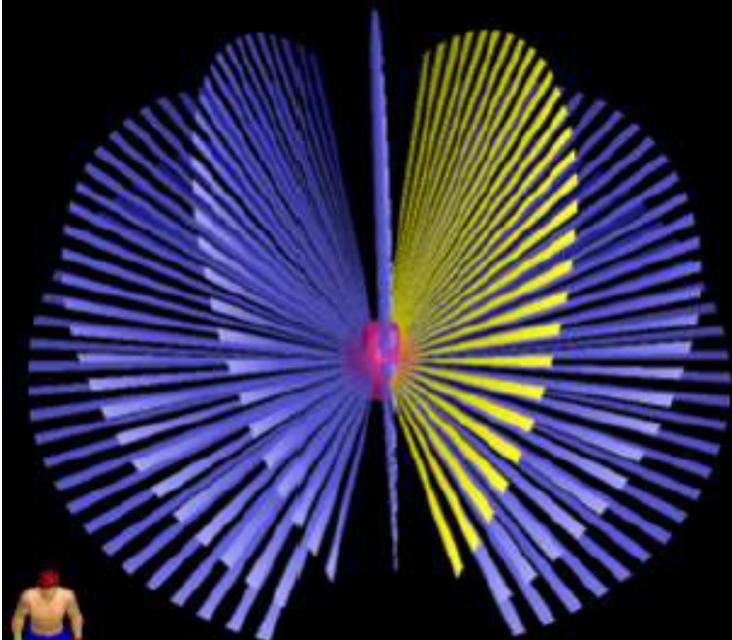


7 archi  
ottimizzati  
(nessun  
beneficio  
sostanziale)



- 20.0 %
- 30.0 %
- 40.0 %
- 50.0 %
- 80.0 %
- 90.0 %
- 105.0 %
- 120.0 %

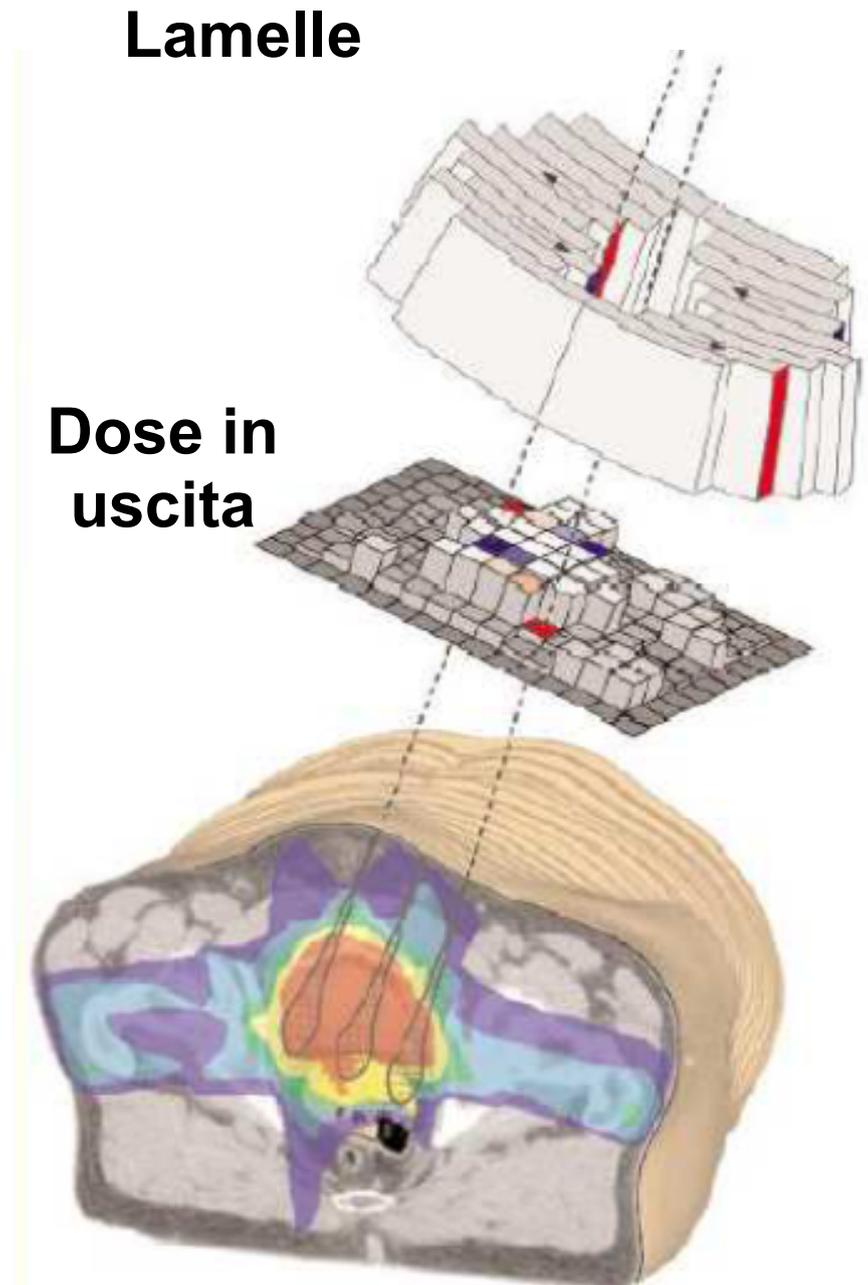
100.0 % = 1000 cGy



# IMRT: Intensity Modulated RadioTherapy

Sistema di lamelle (1 mm di spessore) che servono a definire precisamente la regione da irraggiare.

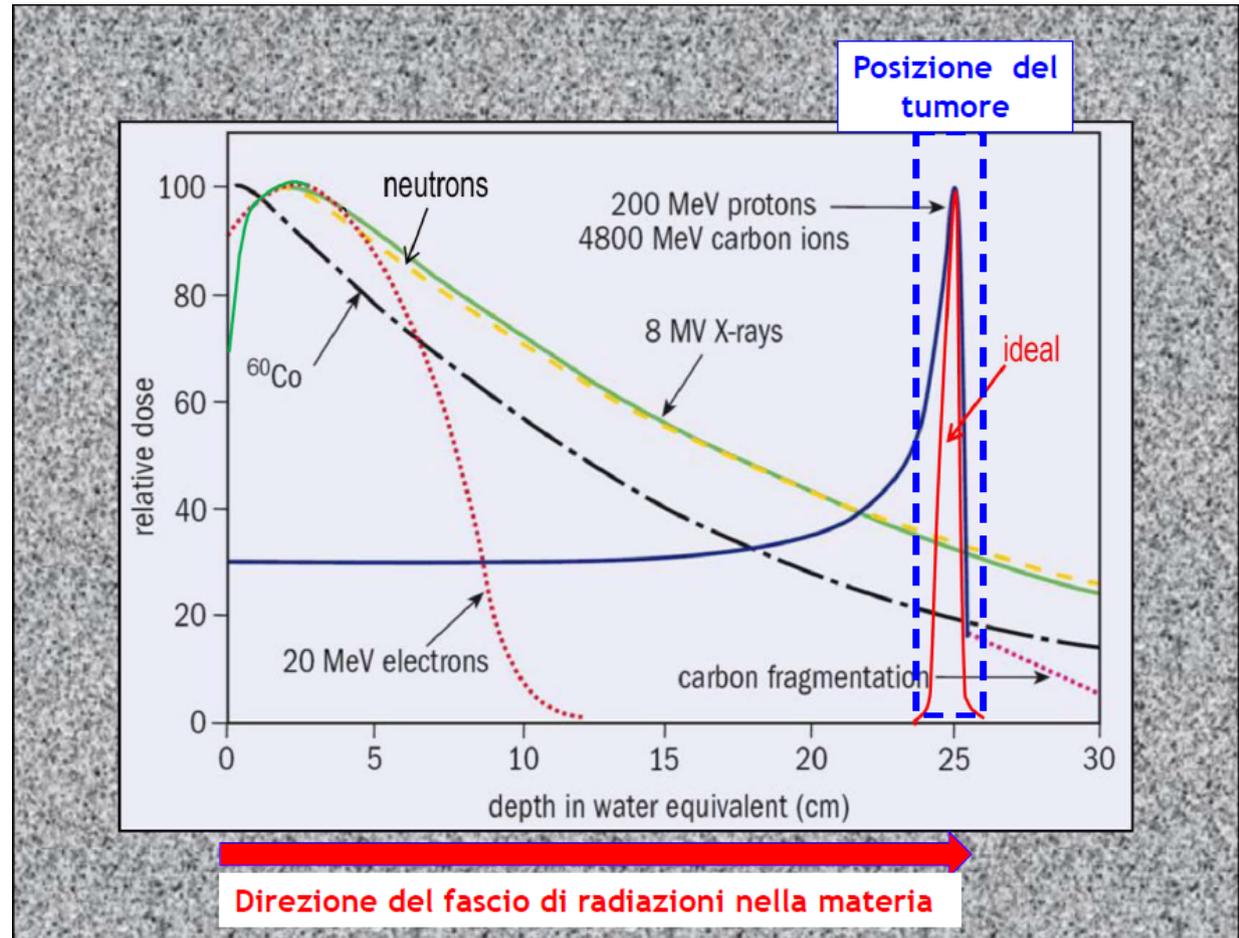
Impulso di radiazione per impulso di radiazione.



# 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).

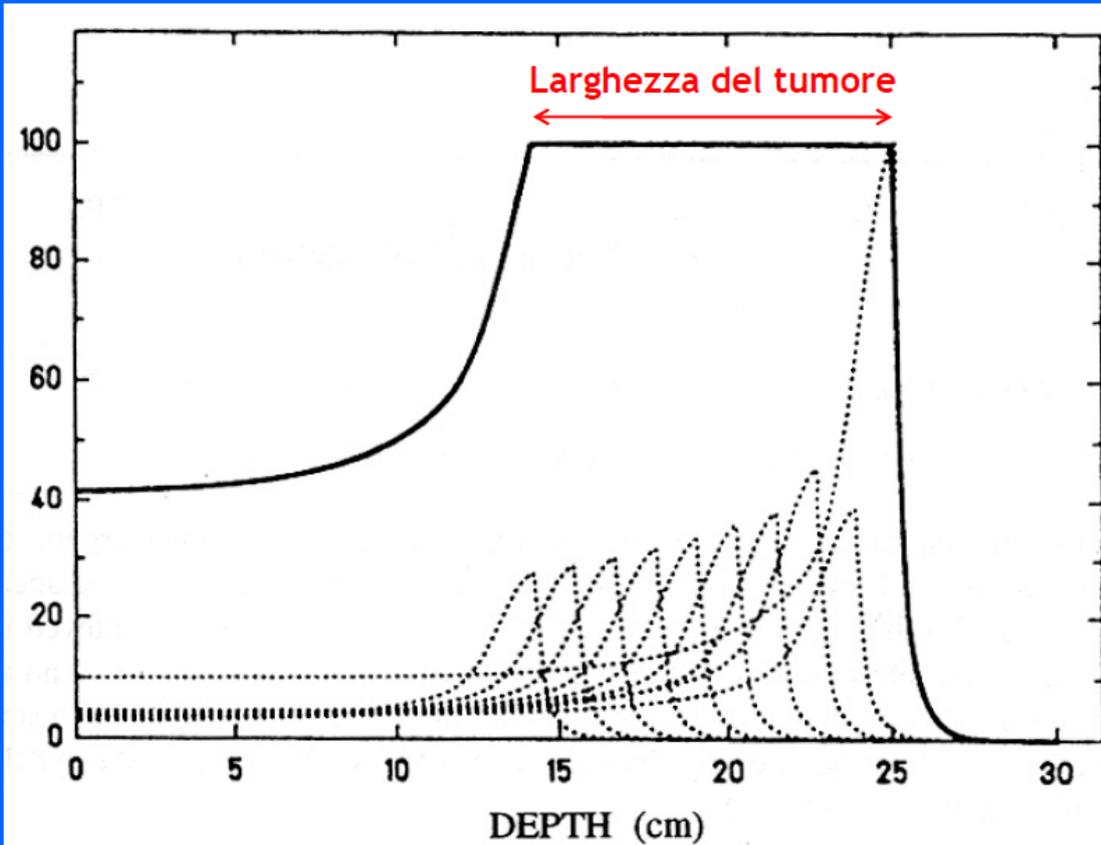
Sono adatti per terapie in profondità



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

# Adroterapia

*Adroni: irraggiamento conforme*

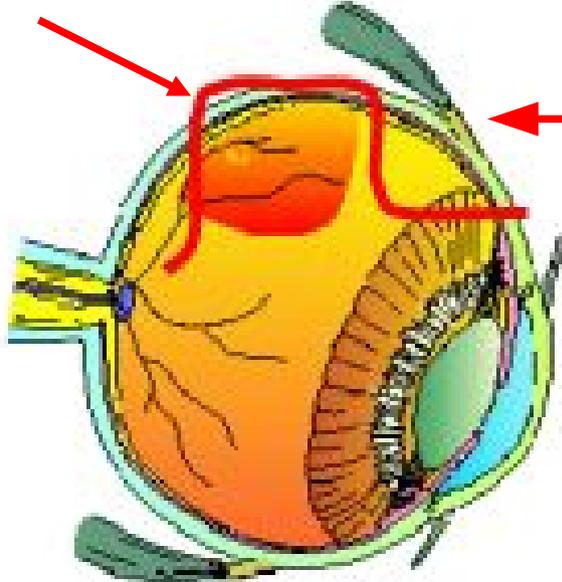


La profondità del picco di Bragg nel corpo dipende dalla energia dei protoni / ioni carbonio.

L'energia depositata dipende quindi dalla sovrapposizione dei diversi impulsi di radiazione.

# Adroterapia: protoni e oltre

Zona irraggiata



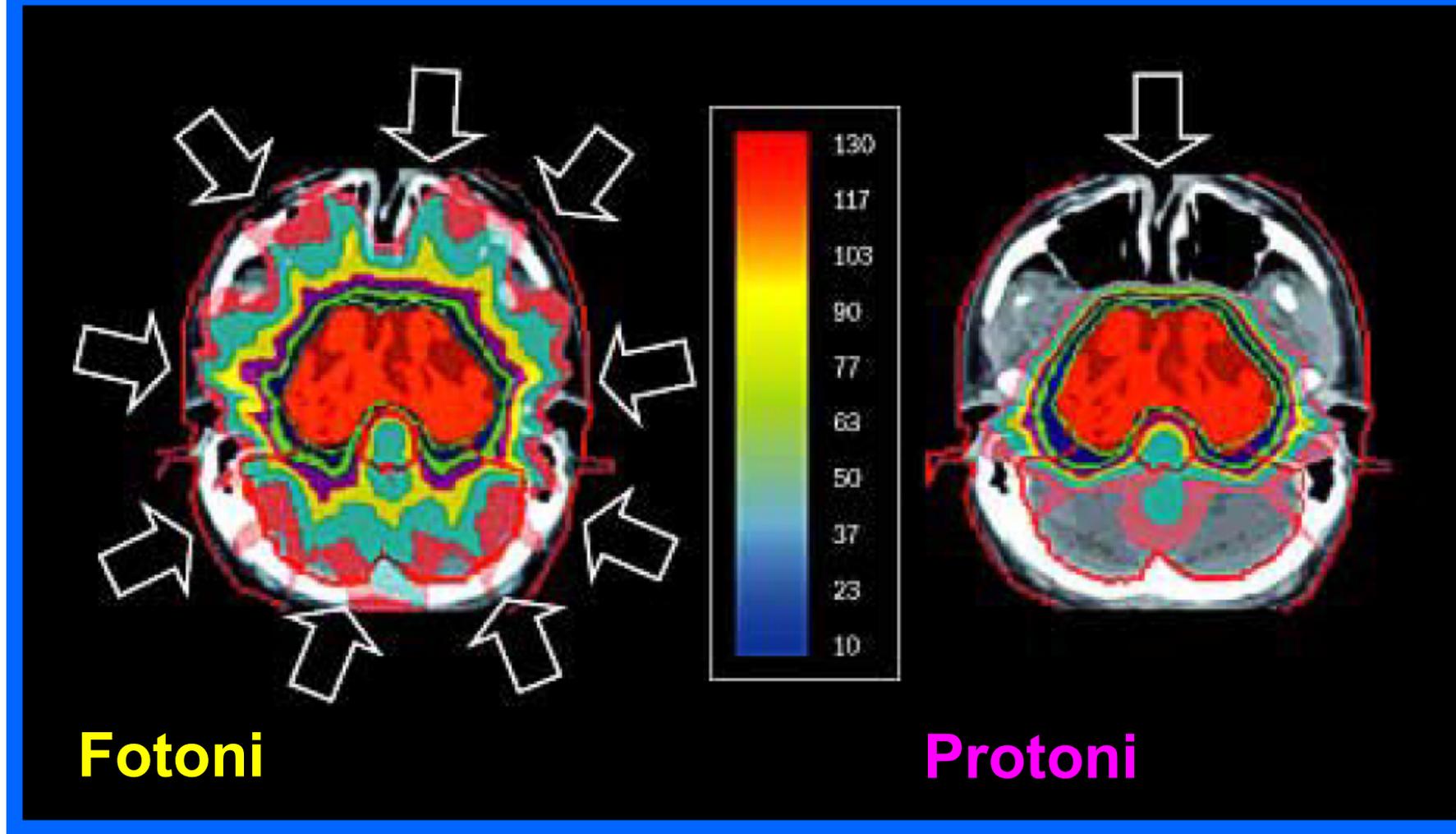
+ di 300 pazienti  
trattati

95% di guarigioni

(INFN LNS - Catania)

# Adroterapia: protoni e oltre

*Adroni: irraggiamento conforme*



# 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.*

