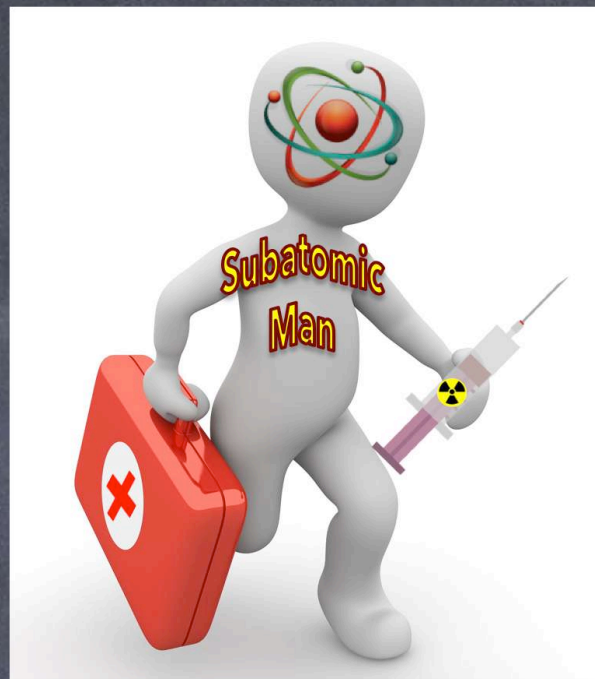


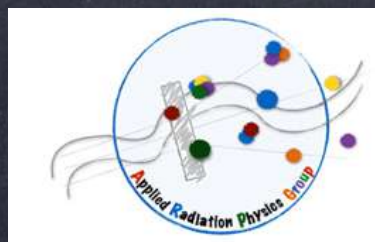


LE RADIAZIONI CHE FANNO BENE

Elena Solfaroli Camillocci
elena.solfaroli@roma1.infn.it

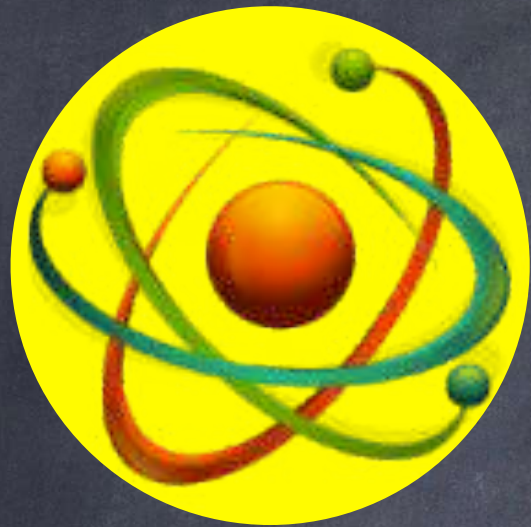


SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



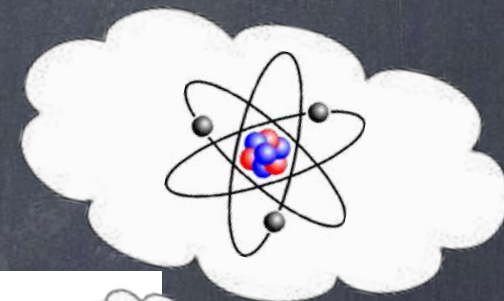
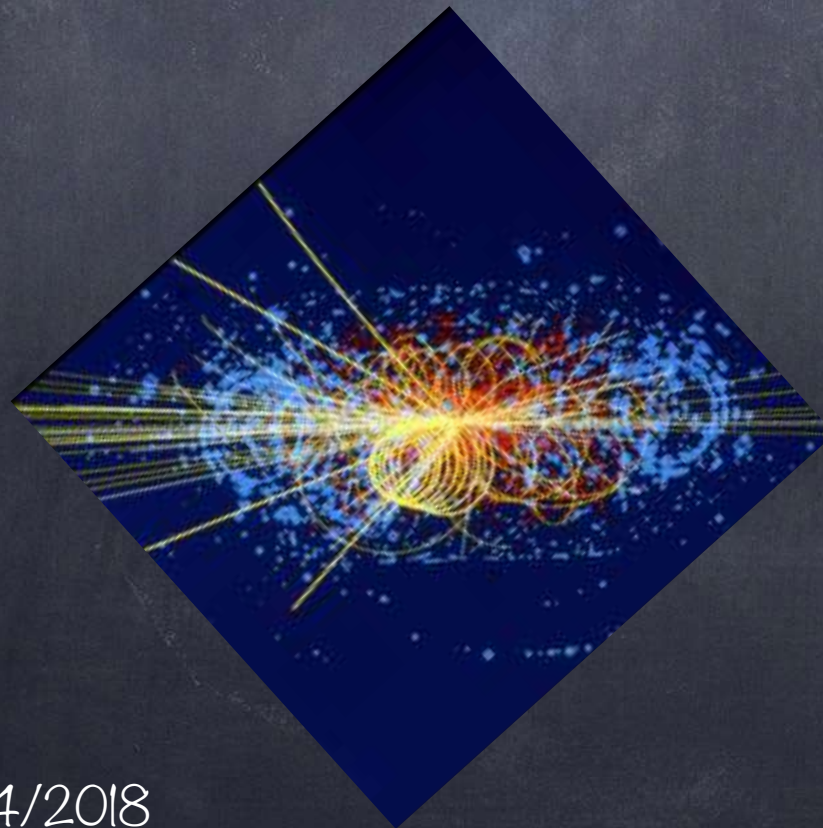
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

CHI PARLA?



Elena Solfaroli Camillocci

- 1986 Disastro di Černobyl'
- Laurea e PhD in Fisica delle particelle
- Ricercatrice @ Dip. di Fisica, Sapienza
 - 2012 Scoperta del Bosone di Higgs
- Scuola di Specializzazione in Fisica Medica



SOMMARIO

SOMMARIO

- Le Radiazioni

- “La paura è la via per il Lato Oscuro”



SOMMARIO

- Le Radiazioni
 - “La paura è la via per il Lato Oscuro”
- Cenni di radiobiologia



SOMMARIO

- Le Radiazioni
 - “La paura è la via per il Lato Oscuro”
- Cenni di radiobiologia
- Medicina & Nucleare
 - dove, come, cosa e perché?

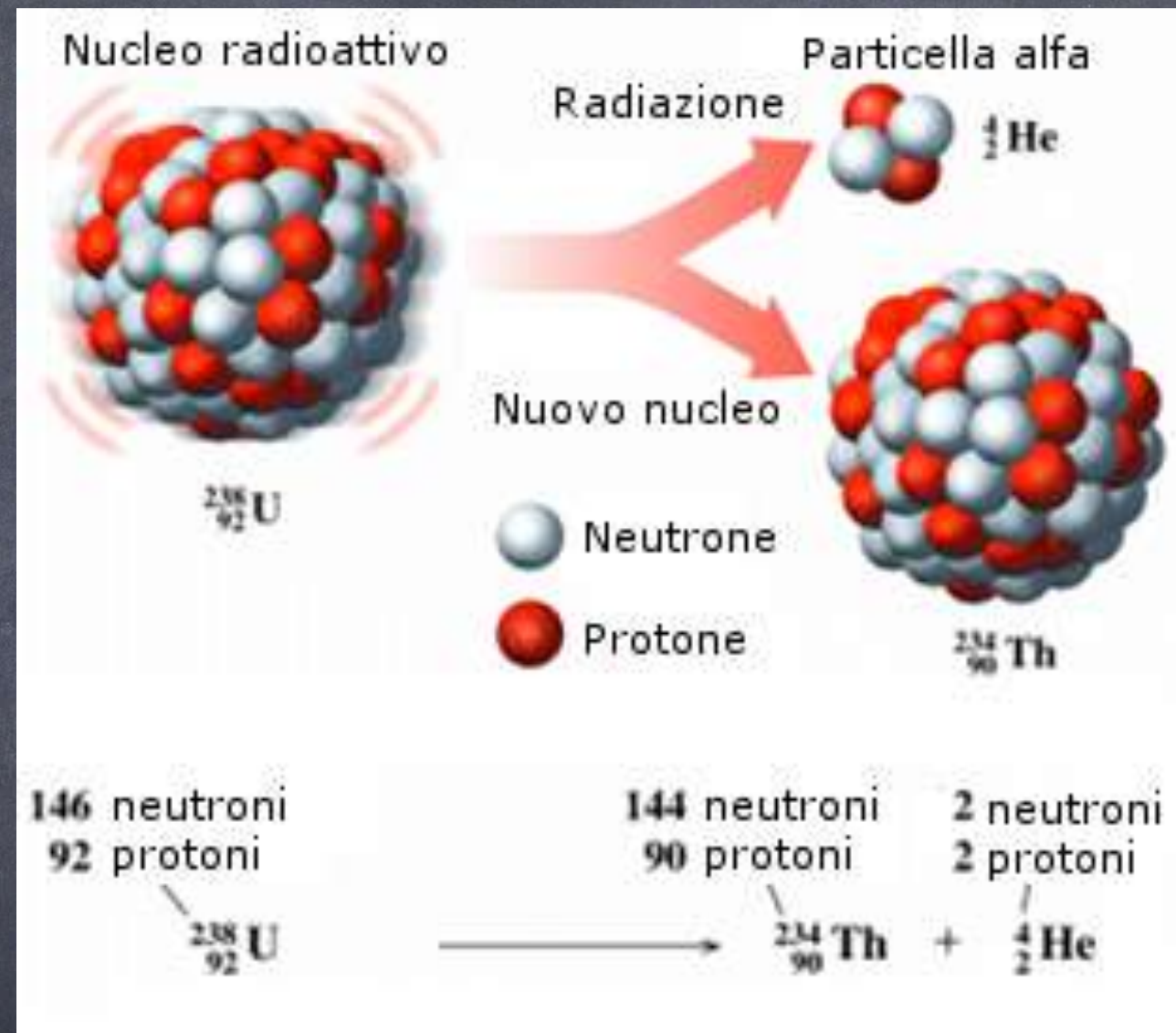


SOMMARIO

- Le Radiazioni
 - “La paura è la via per il Lato Oscuro”
- Cenni di radiobiologia
- Medicina & Nucleare
 - dove, come, cosa e perché?
- Come possono le particelle subatomiche difendere la nostra Salute



LA RADIOATTIVITÀ



Decadimenti nucleari:

nuclei atomici instabili si diseccitano o si trasformano per raggiungere lo stato di stabilità'.

Particelle subatomiche sono emesse per bilanciare l'energia in eccesso.

RADIONUCLIDI

- L'attività definisce il numero di nuclei che decadono in 1 sec

- si misura in Bq

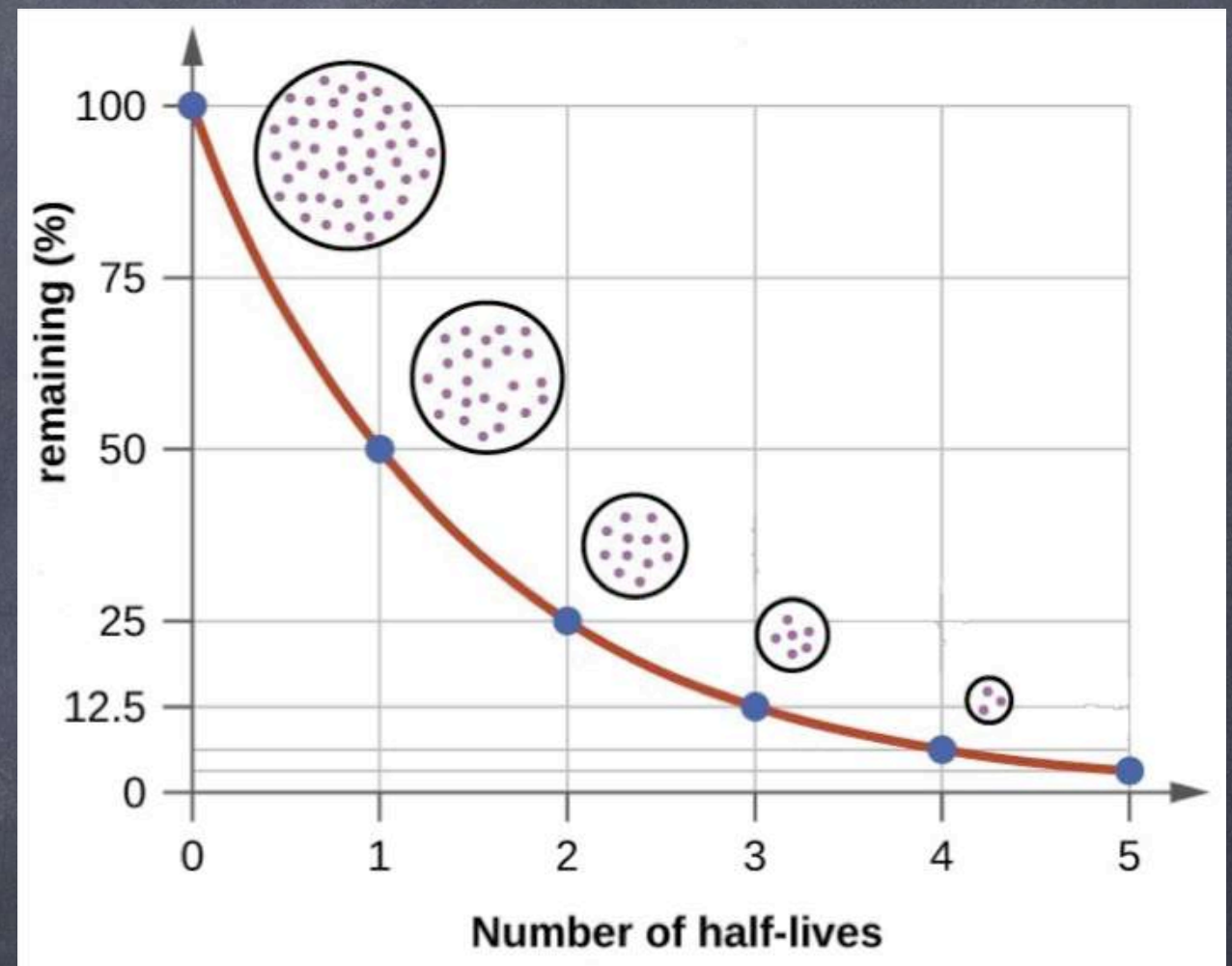
- Legge di decadimento

- $A(t) = A_0 * 2^{-(t/\tau_{1/2})}$

- Emivita $\tau_{1/2}$

- $A(\tau_{1/2}) = A_0/2$

- secondi/minuti/ore/giorni/anni

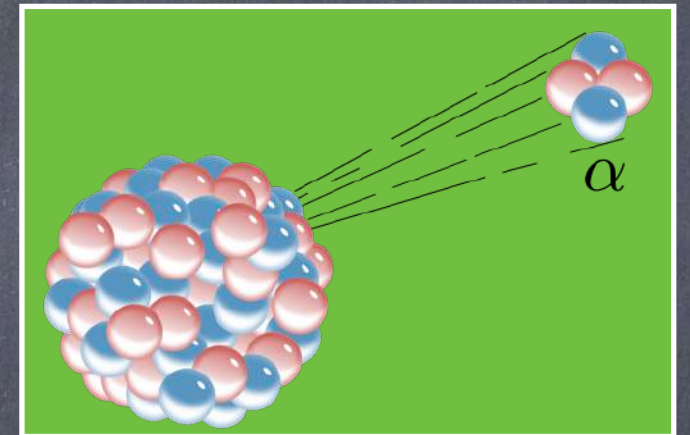


7 emivite $\Rightarrow$ #atomi=1.6%

DECADIMENTI α , β e γ

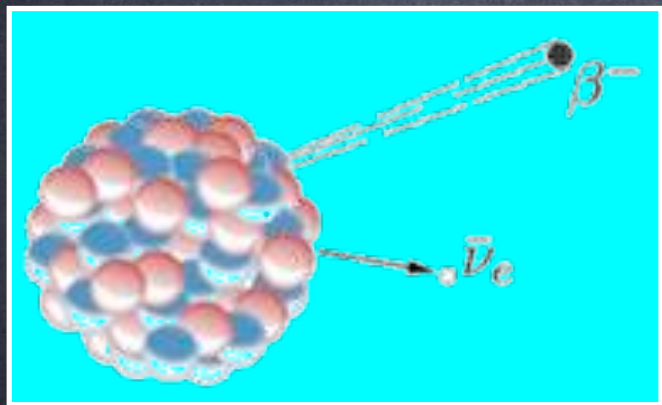
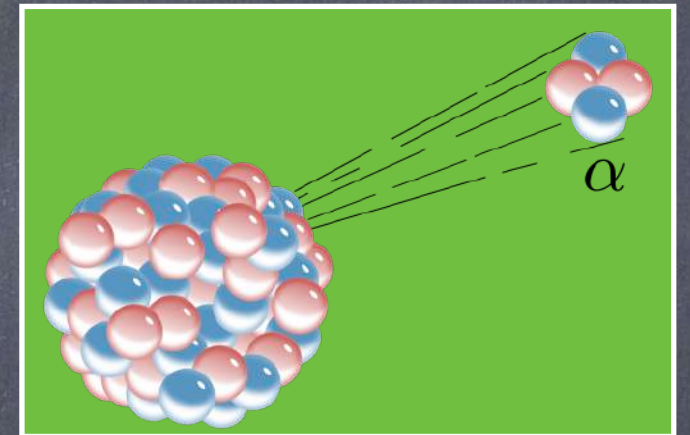
DECADIMENTI α , β e γ

Decadimento α il nucleo genitore emette un nucleo di ${}^4\text{He}$ (2p+2n) detto **particella α** , massivo, con carica elettrica $2+$ e fortemente interagente.



DECADIMENTI α , β e γ

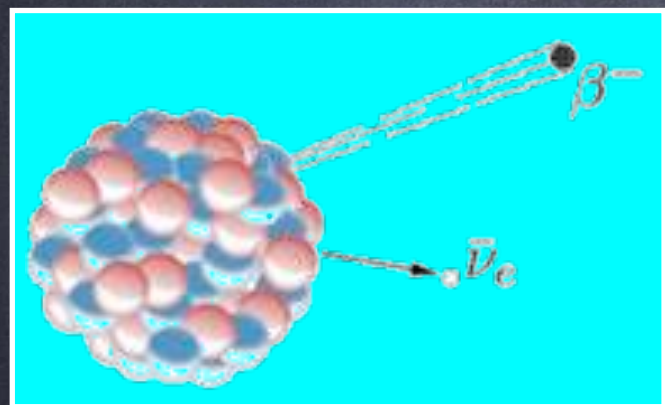
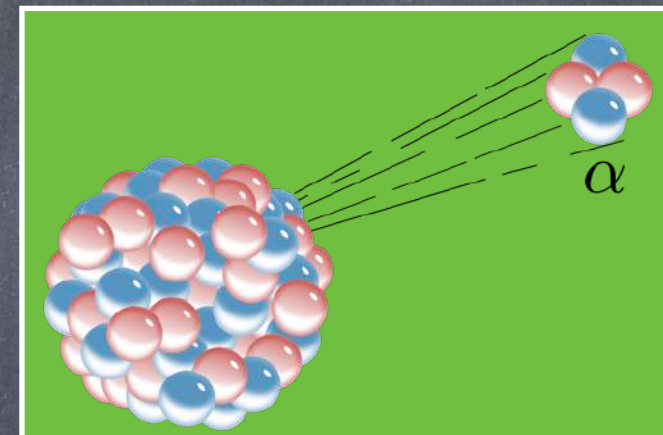
Decadimento α il nucleo genitore emette un nucleo di ${}^4\text{He}$ (2p+2n) detto **particella α** , massivo, con carica elettrica $2+$ e fortemente interagente.



Decadimento β^- il nucleo emette un **elettrone**, leggero, carico-, molto interagente, più un neutrino debolmente interagente.

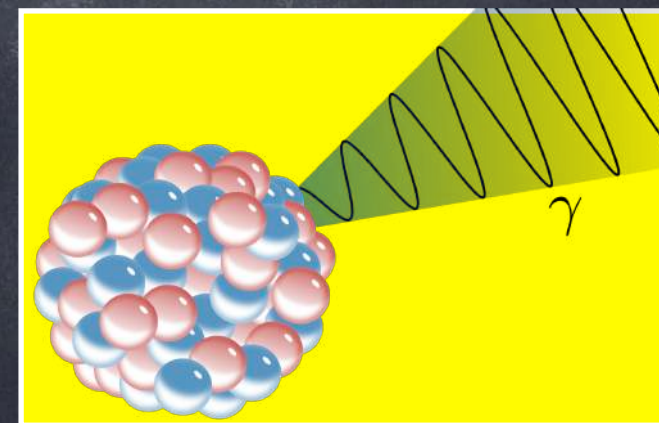
DECADIMENTI α , β e γ

Decadimento α il nucleo genitore emette un nucleo di ${}^4\text{He}$ (2p+2n) detto **particella α** , massivo, con carica elettrica $2+$ e fortemente interagente.

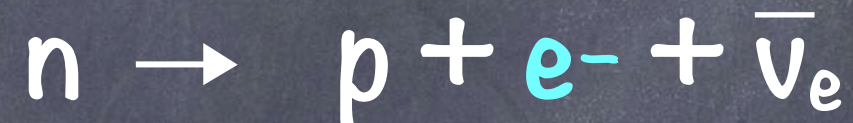
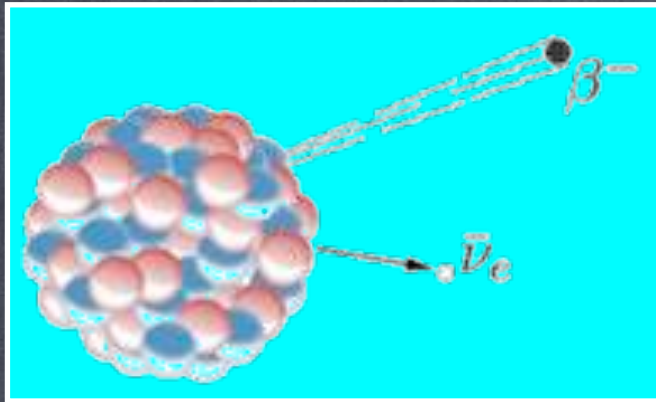


Decadimento β^- il nucleo emette un **elettrone**, leggero, carico-, molto interagente, più un neutrino debolmente interagente.

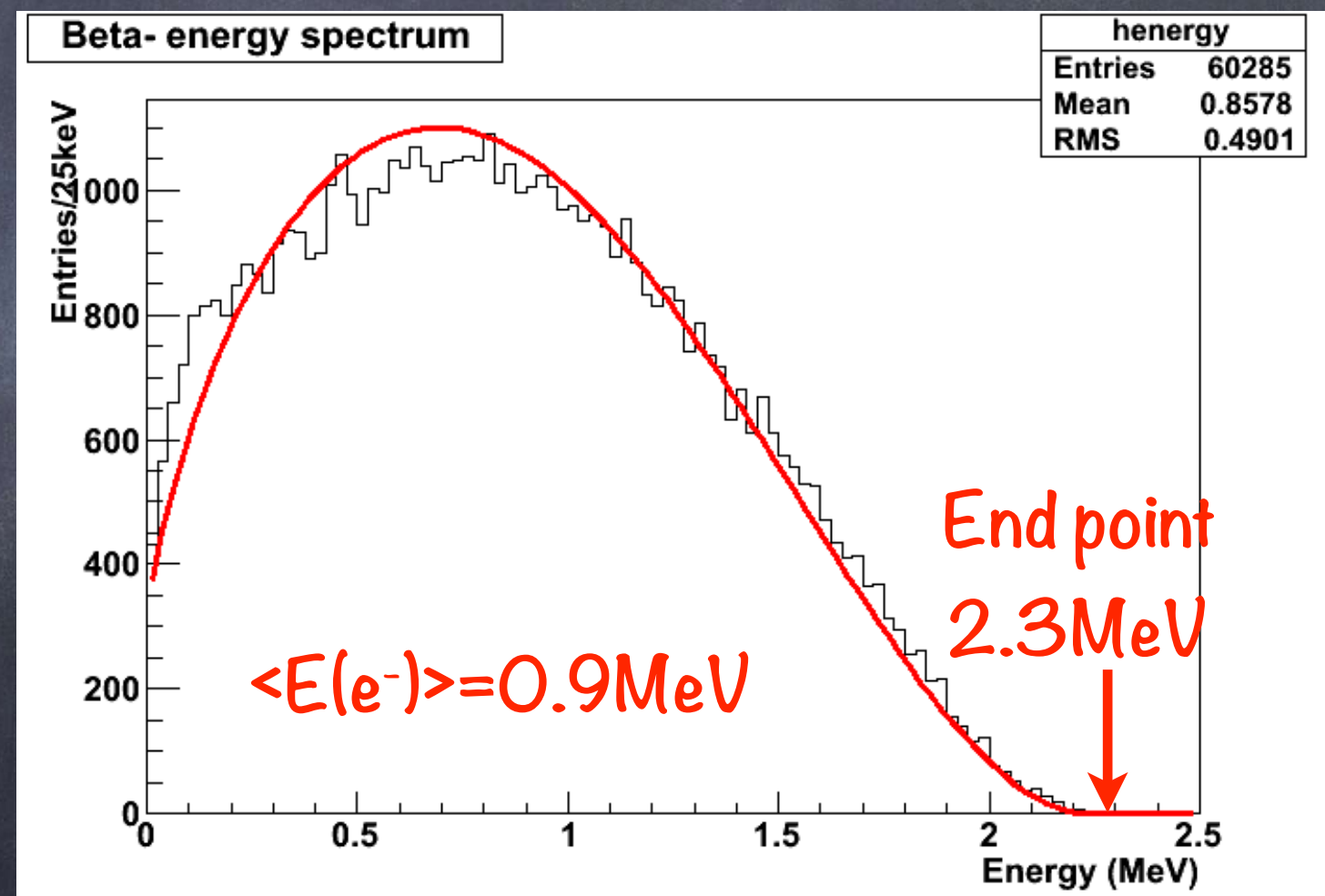
Decadimento γ il nucleo emette un **fotone**, senza massa e carica; mediamente interagente.



^{90}Y TRIUM



- Ha 1 neutrone in più dell'unico isotopo stabile in natura ^{89}Y
- **Decadimento β^- puro**
- $\tau_{1/2} = 64 \text{ h}$
- Energia dell'elettrone fino a 2.3 MeV
- Prodotto dal decadimento del ^{90}Sr (derivato da fissione dell'Uranio)



RAGGI α , β e γ

Particelle α

Particelle β

Raggi γ

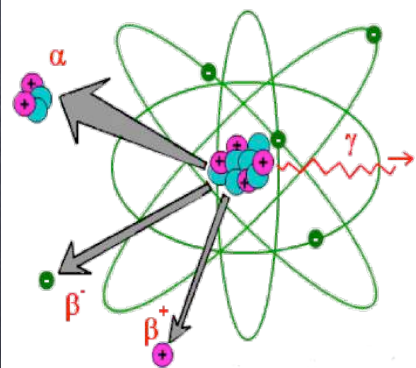
qualche mm

qualche cm

Carta

Alluminio

Piombo



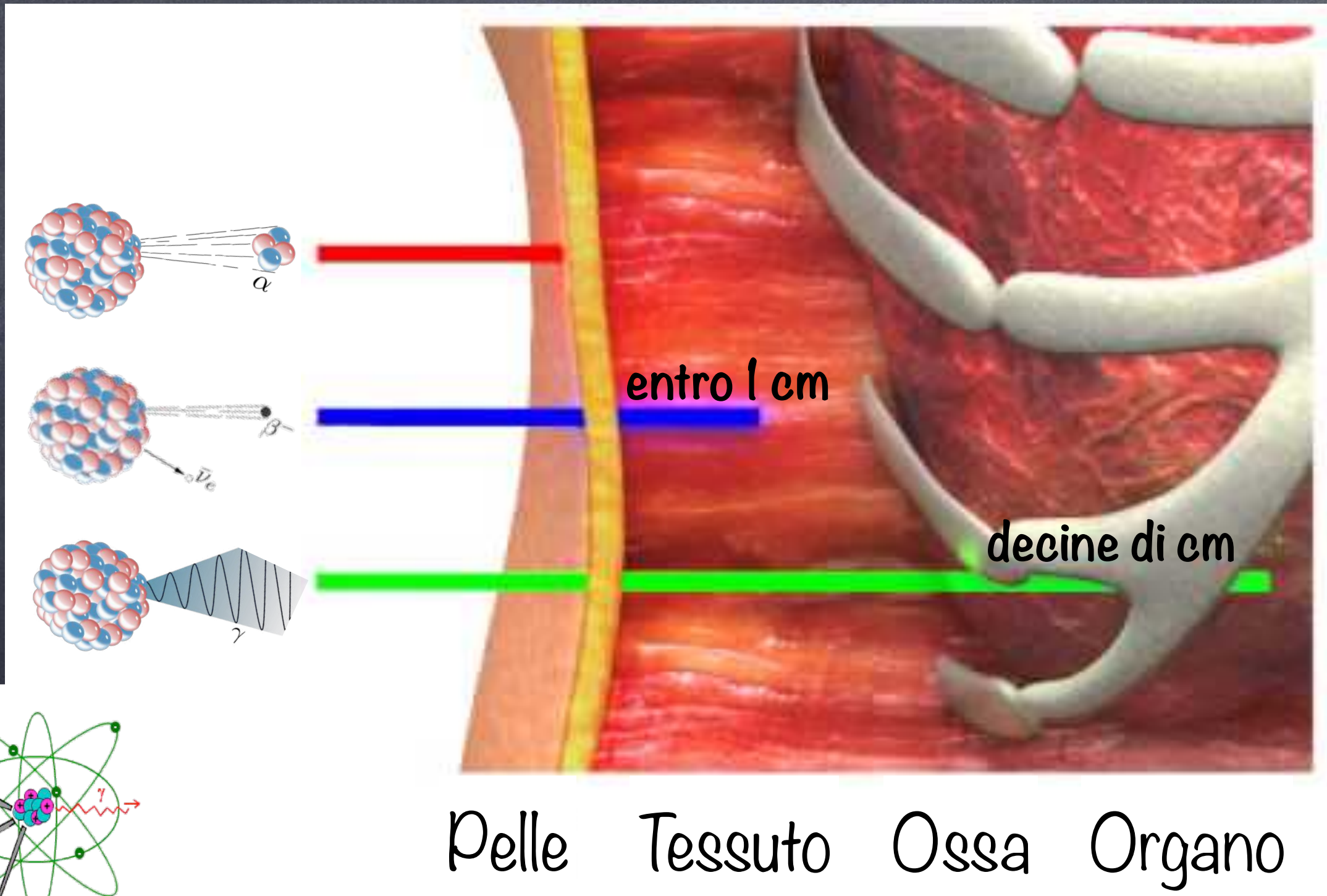
Raggi X, raggi γ e luce stessa radiazione ma diversa energia

Luce visibile 2-3 eV

Raggi X ~1000 eV

Raggi γ ~1000000 eV

RAGGI α , β e γ



RADIAZIONI IONIZZANTI

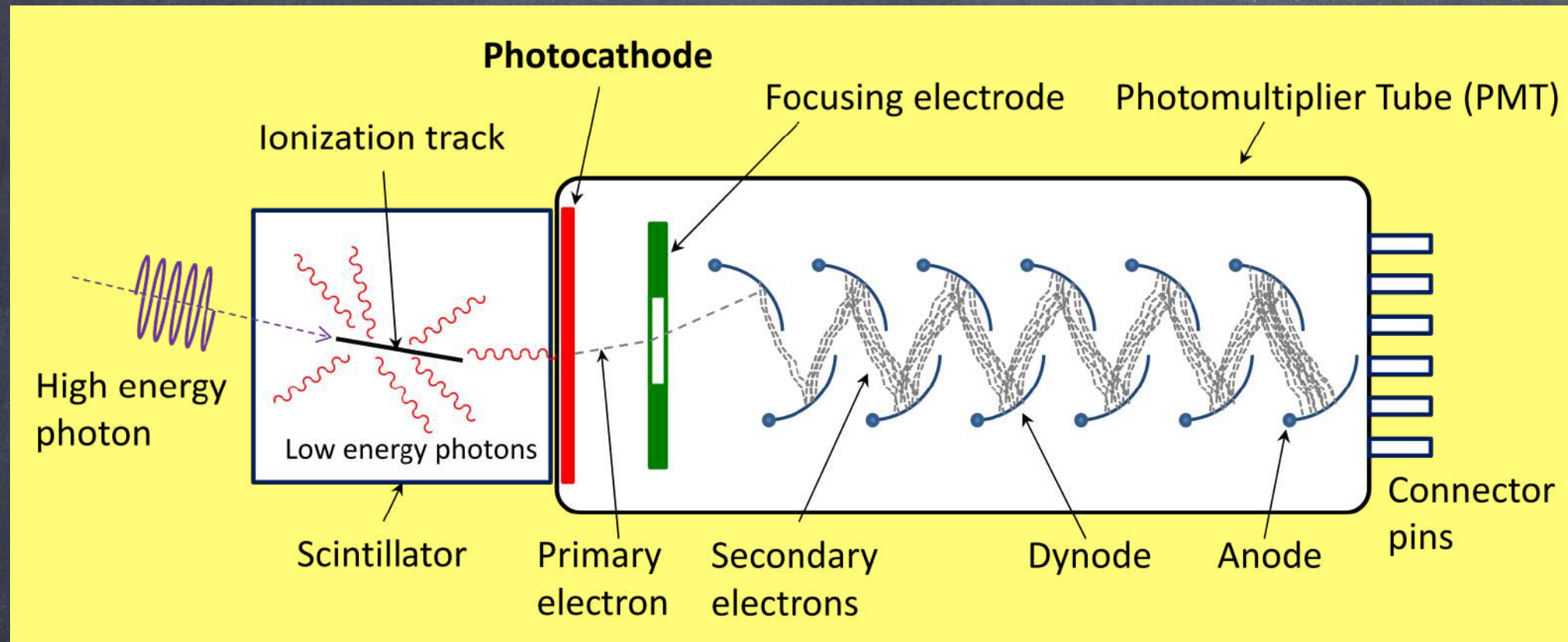
La radiazione interagisce con la materia che attraversa rilasciando energia.

DIRETTAMENTE IONIZZANTE	INDIRETTAMENTE IONIZZANTE
Raggi α e β	Raggi γ
Tante piccole interazioni	Tutto o niente
La particella carica cede energia un po' alla volta liberando un elettrone atomico (ionizzazione)	Il fotone ha una certa probabilità di essere assorbito e liberare un elettrone che può a sua volta ionizzare.

NON SI VEDE, NON SI SENTE



NON SI VEDE, NON SI SENTE

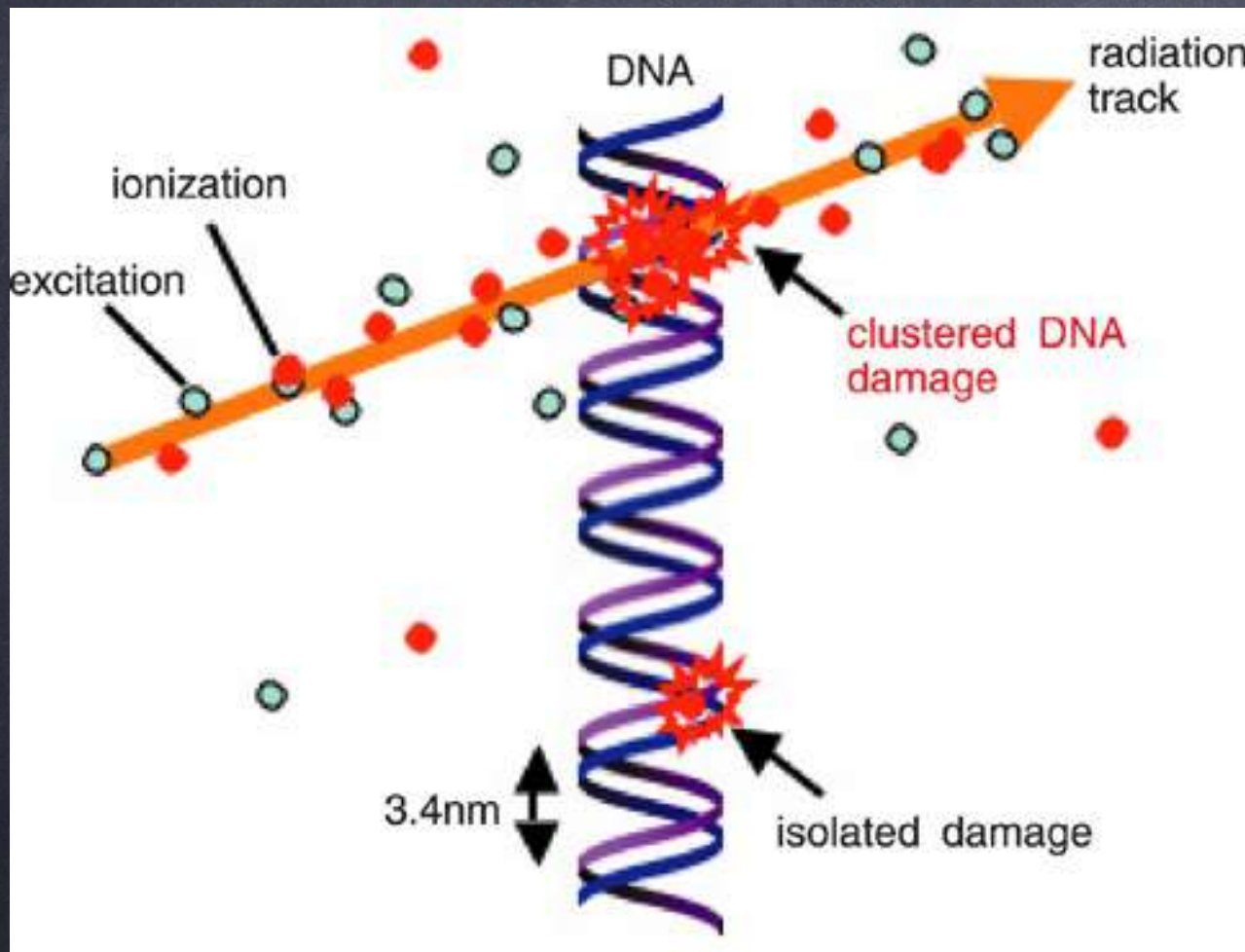


Ma si “RIVELA”



DANNI RADIOBIOLOGICI

Il DNA presiede al funzionamento e alla riproduzione della cellula

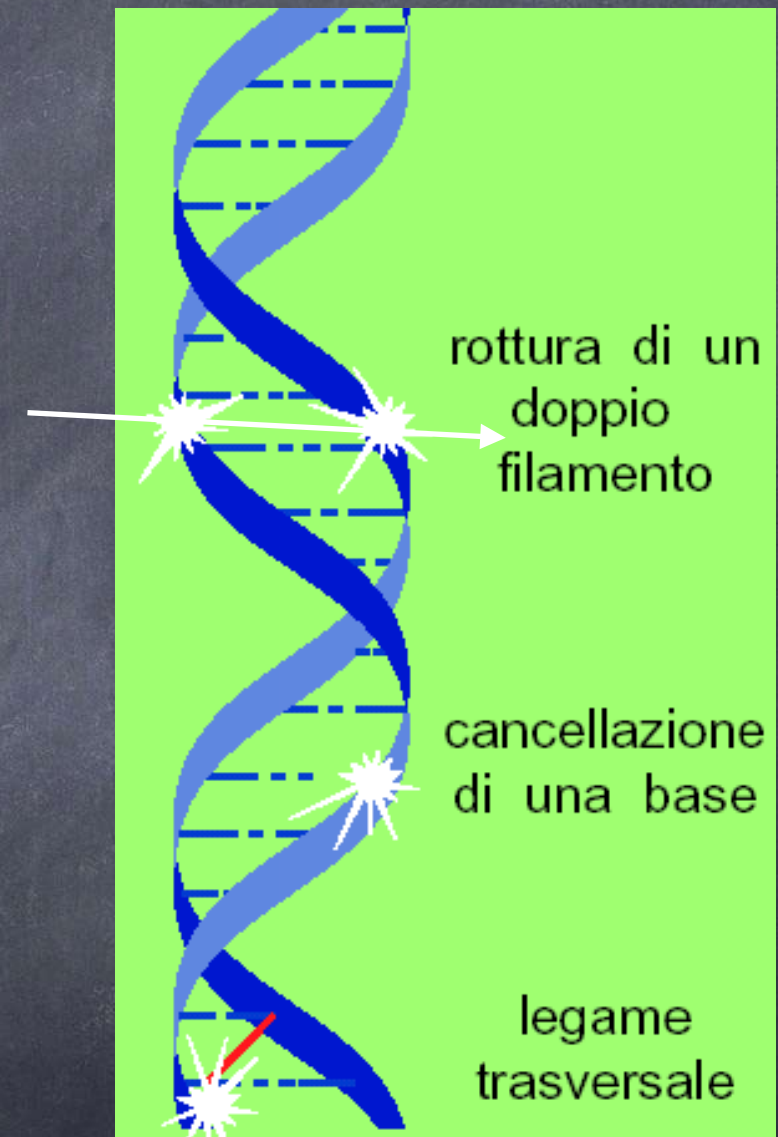


Effetti biologici della radiazione ionizzante:

- danno diretto: la particella agisce sul DNA causando la rottura dei filamenti;
- danno indiretto: la particella crea un radicale libero $\text{OH}^\cdot$ (per idrolisi dell'acqua) che poi interagisce con il DNA danneggiandolo.

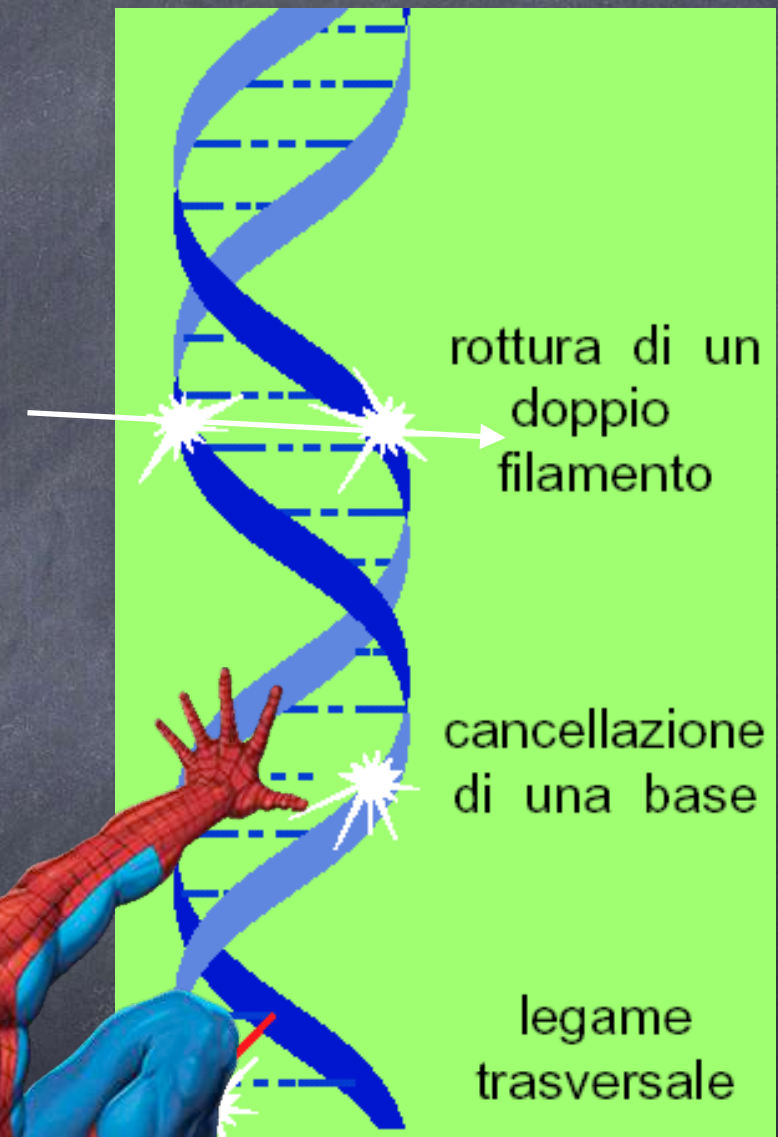
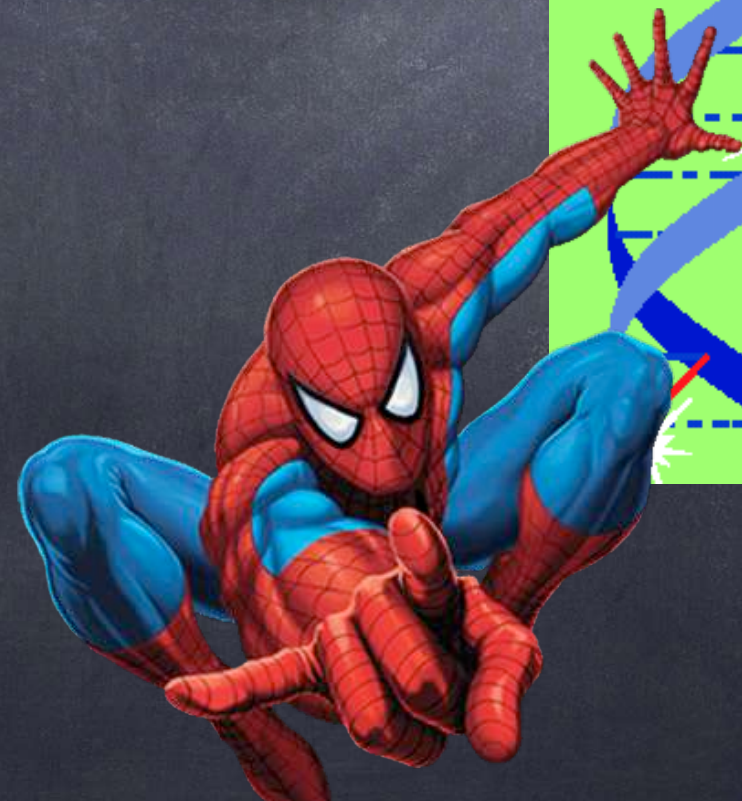
DNA SALVA-CELLULA

- Il DNA si replica e auto-ripara le rotture in tempi di minuti-ore
 - se il danno non e' troppo complesso!
- Doppia-rottura del DNA: interessa entrambi i filamenti può succedere
 - invecchiamento cellulare e funzionalità modificate
 - morte istantanea o incapacità di riprodursi
 - induzione di processo neoplastico: tumori
 - mutazioni genetiche



DNA SALVA-CELLULA

- Il DNA si replica e auto-ripara le rotture in tempi di minuti-ore
 - se il danno non e' troppo complesso!
- Doppia-rottura del DNA: interessa entrambi i filamenti può succedere
 - invecchiamento cellulare e funzionalità modificate
 - morte istantanea o incapacità di riprodursi
 - induzione di processo neoplastico: tumori
 - mutazioni genetiche



EFFETTI MACROSCOPICI

Gli effetti delle radiazioni sul corpo umano

EFFETTI DETERMINISTICI

- danni biologici **somatici**
 - eritema, irritazione cutanea, sindrome gastrointestinale
- precoci e a soglia
- proporzionali alla dose ricevuta
- guaribili eliminando la sorgente

EFFETTI STOCASTICI

- di tipo **probabilistico**
 - non su tutti e non stesso effetto (tumori)
- lunga latenza, anche dopo mesi
- gravita' non dipende dalla dose
- non scompaiono

DOSE ASSORBITA

DOSE ASSORBITA

La **Dose Assorbita** e' la quantità di energia assorbita da una massa unitaria di materiale attraversato

- $D = dE / dm$

- si misura in Gy o J/Kg

DOSE ASSORBITA

La **Dose Assorbita** e' la quantità di energia assorbita da una massa unitaria di materiale attraversato

• $D = dE/dm$

• si misura in Gy o J/Kg

La **Dose Equivalente** mediata sull'organo T $H_T = \sum w_R * D_{R,T}$

• w_R fattore di ponderazione che tiene conto del tipo di radiazione e relativo livello di pericolosità

	w_R	H_T
β e γ	1	D_T
Particelle α	20	$20 * D_T$

DOSE EFFICACE

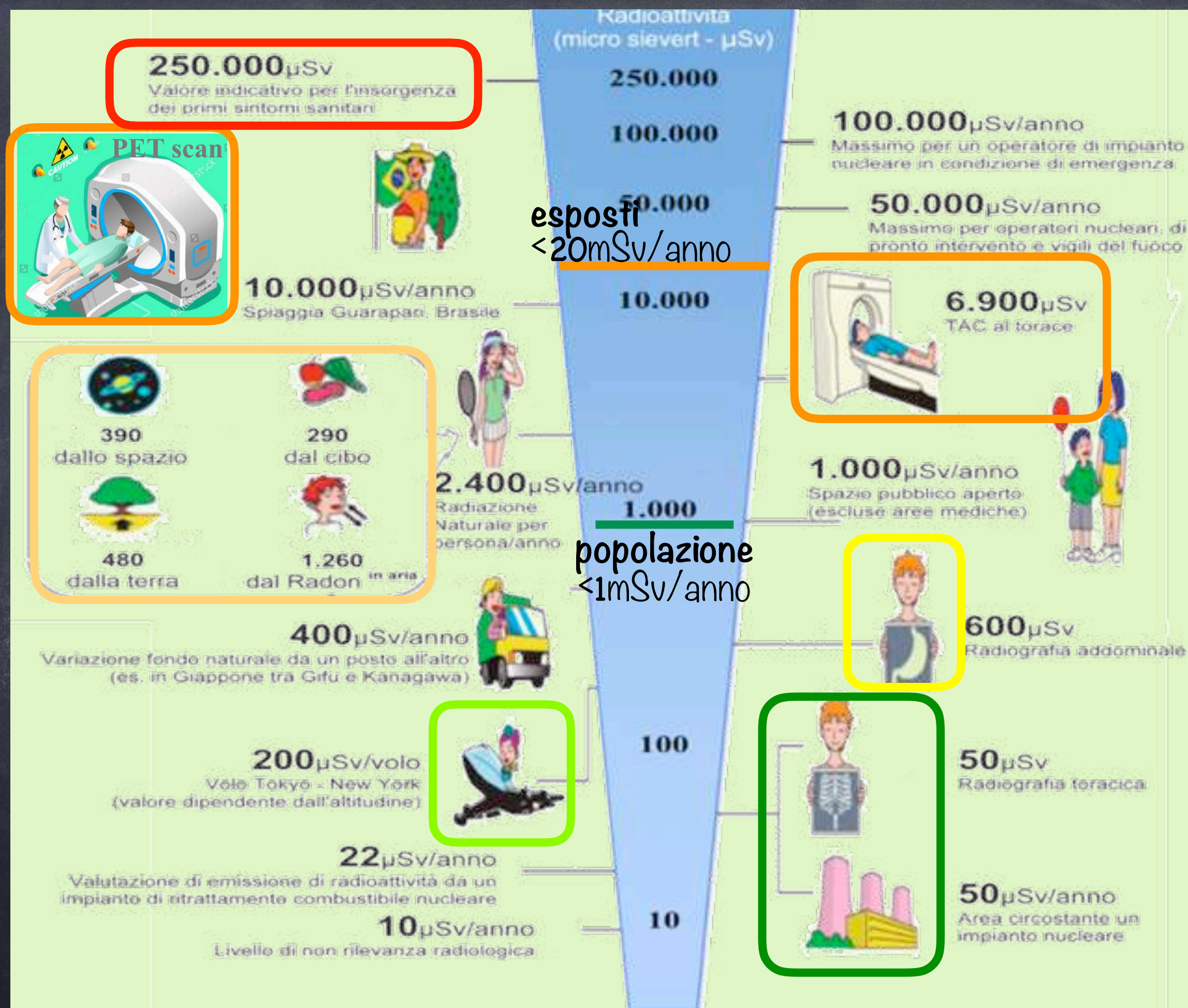
Quanto ci fa male?

La **Dose Efficace** $E = \sum w_T * H_T$

- tiene conto degli effetti biologici probabilistici di ciascun organo/ tessuto irradiato
- si misura in Sievert

Organo o tessuto	Fattore di ponderazione w_T
Gonadi	0.08
Mammelle	0.12
Midollo osseo rosso	0.12
Fegato	0.04
Colon	0.12
Vescica	0.04
Polmone	0.12
Esofago	0.04
Stomaco	0.12
Tiroide	0.04
Pelle	0.01
Superficie ossea	0.01
Ghiandole salivari	0.01
Cervello	0.01
Rimanenti organi o tessuti	0.12

* ICRP Publication 103: «The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection»



MA ALLORA???



MA ALLORA???



Non tutto il male vien per nuocere!



Un Jedi usa la Forza per saggezza e difesa,
mai per attaccare!

MEDICINA & NUCLEARE?



MEDICINA & NUCLEARE?



QUESTO E' UN LAVORO PER



QUESTO E' UN LAVORO PER

Terapia

Diagnostica

Teragnostica

Chirurgia
Radioguidata



MEDICINA & NUCLEARE



L'importante e'

MEDICINA & NUCLEARE

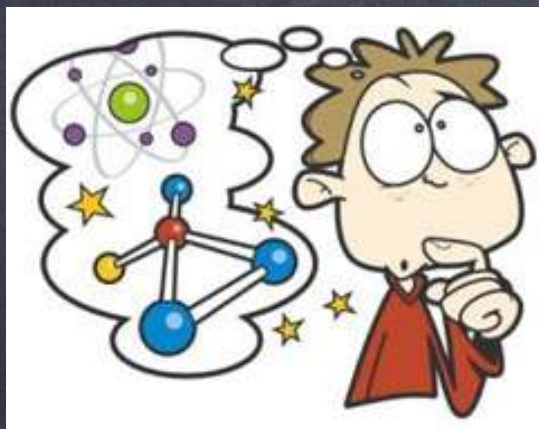


L'importante e'



DOVE?





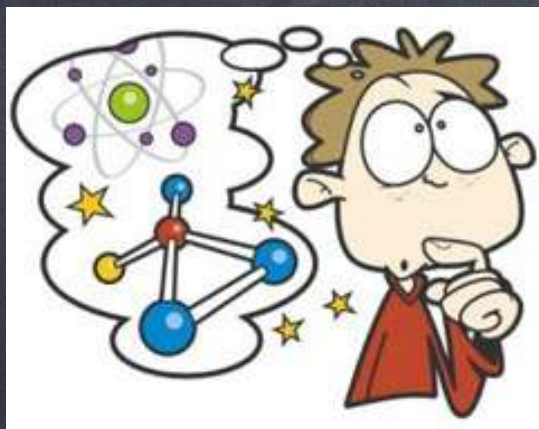
fisico



chimico



farmacista



fisico

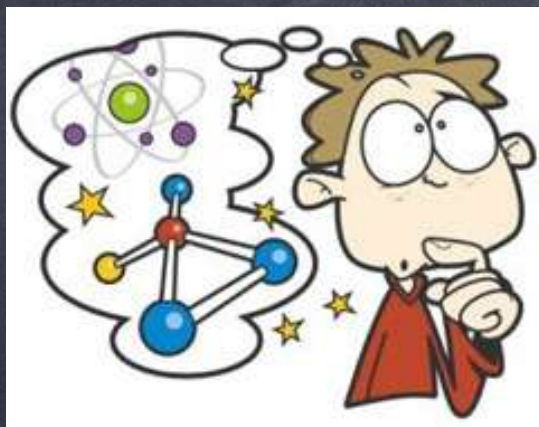


chimico



farmacista

IL RADIO-FARMACO



fisico



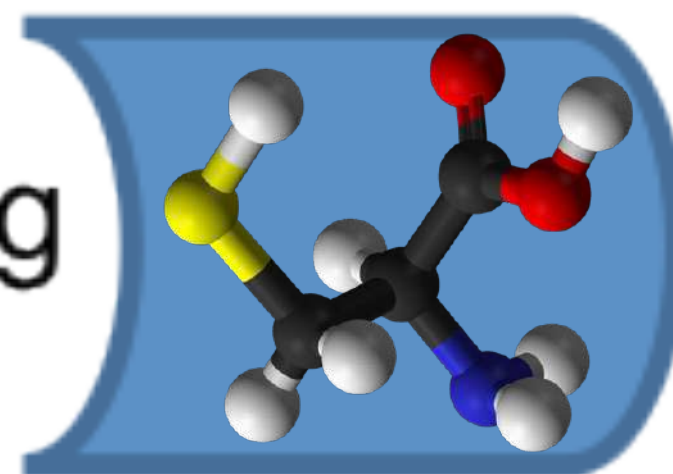
chimico

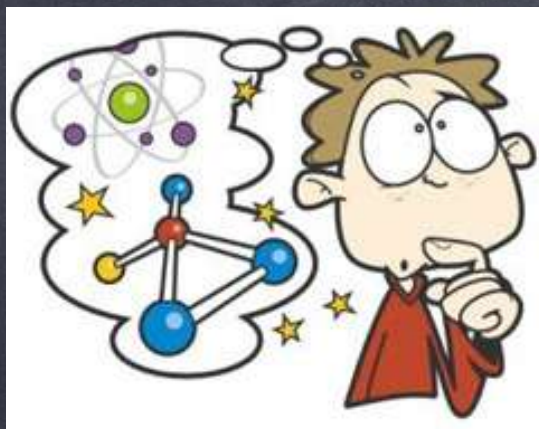


farmacista

IL RADIO-FARMACO

Tumor-Targeting
Vector





fisico

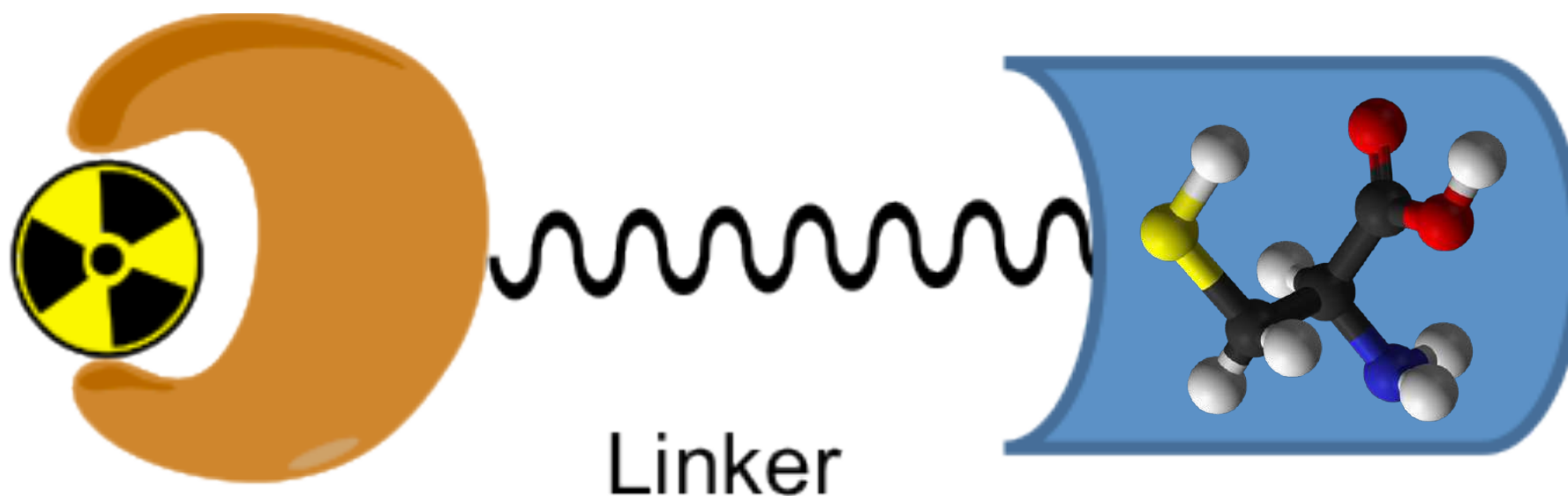


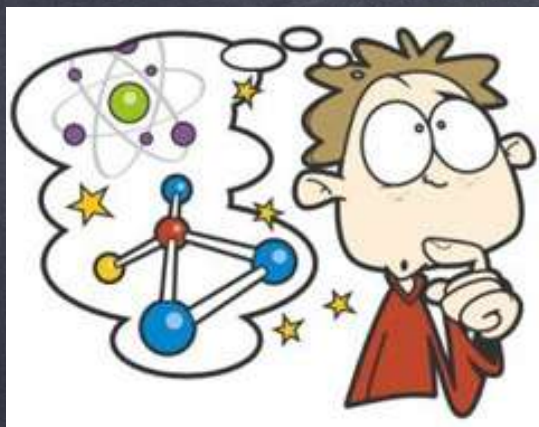
chimico



farmacista

IL RADIO-FARMACO





fisico

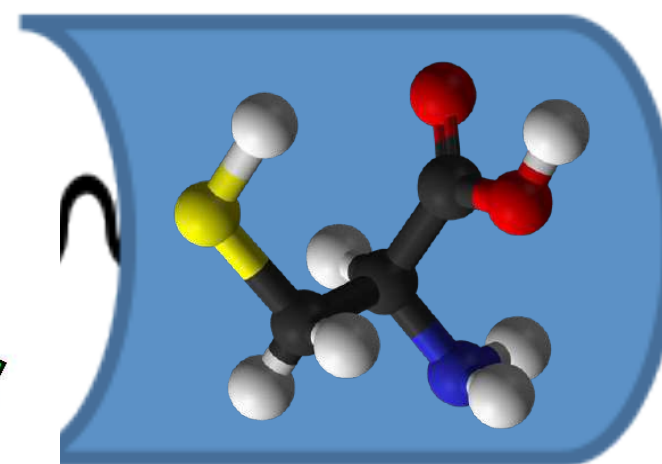


chimico



farmacista

IL RADIO-FARMACO

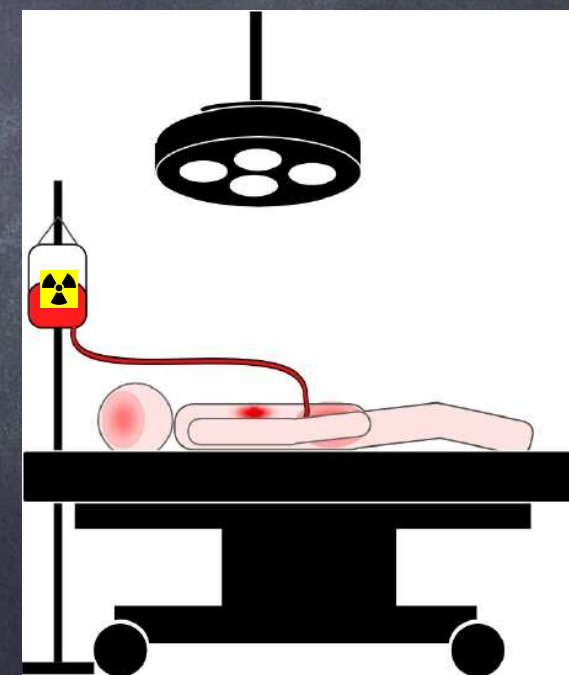




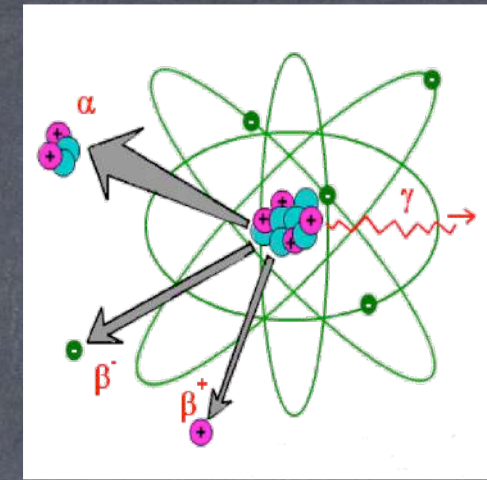
COME?



1. Produzione del radionuclide generatore
 - ciclotrone o acceleratore lineare
 - reattore nucleare
2. Eluizione dal generatore e preparazione del radiofarmaco
3. Somministrazione
 - endovenosa o ingestione
4. Metabolizzazione



COSA?



Radionuclidi per medicina nucleare

Decadimento

genitore e figli

Vita media

Diagnostica: minuti/ore

Terapia: ore/giorni

Radiazione emessa

Diagnostica: penetrante e rivelabile

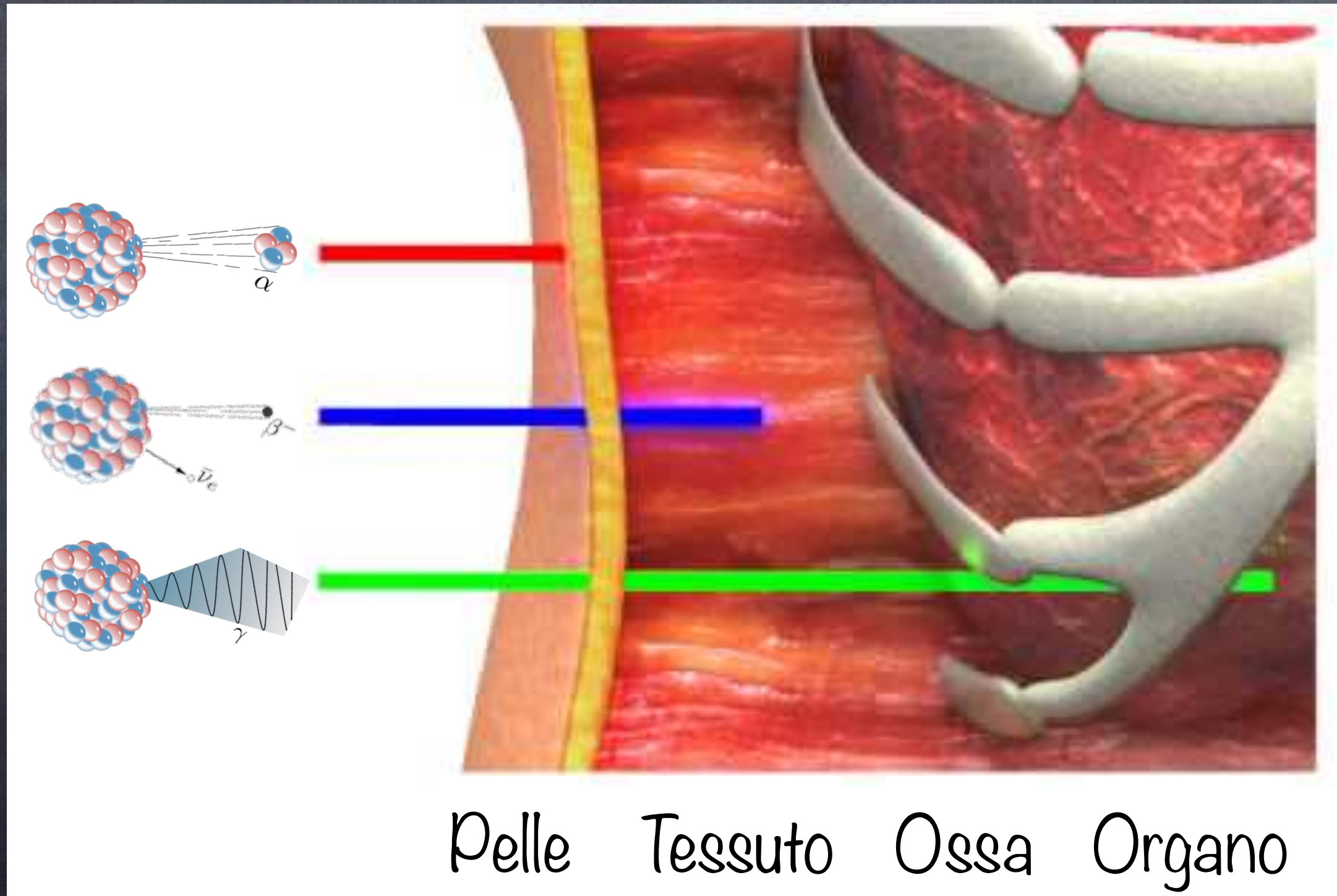
Terapia: assorbimento locale

Attività e dose assorbita

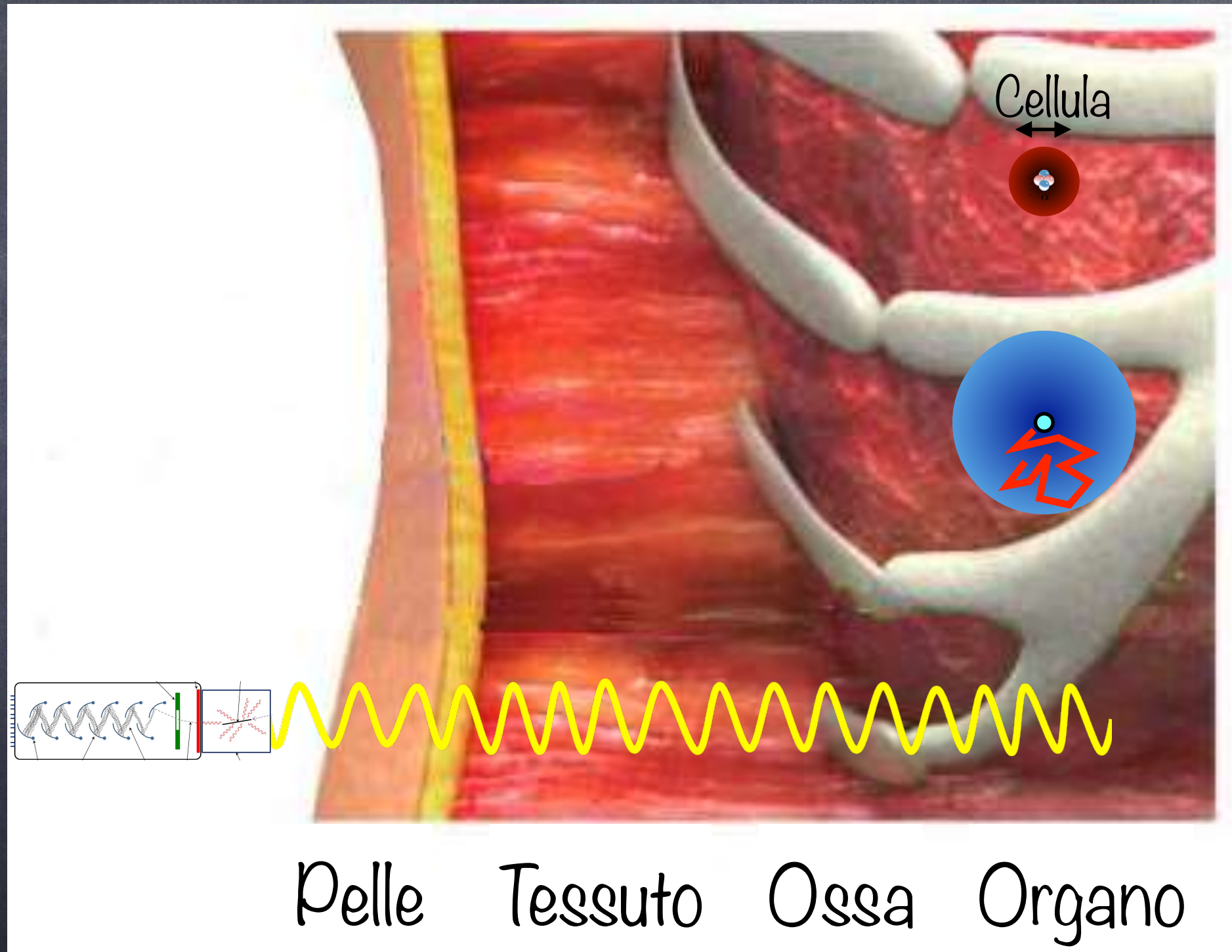
Biocompatibile/smaltimento del metabolismo

isotope	symbol	Z	$T_{1/2}$	decay	gamma (keV)	positron (keV)
Imaging:						
fluorine-18	^{18}F	9	109.77 m	β^+	511 (193%)	249.8 (97%) ^[15]
gallium-67	^{67}Ga	31	3.26 d	ec	93 (39%), 185 (21%), 300 (17%)	-
krypton-81m	$^{81\text{m}}\text{Kr}$	36	13.1 s	IT	190 (68%)	-
rubidium-82	^{82}Rb	37	1.27 m	β^+	511 (191%)	3.379 (95%)
nitrogen-13	^{13}N	7	9.97 m	β^+	511 (200%)	1190 (100%) ^[16]
technetium-99m	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	43	6.01 h	IT	140 (89%)	-
indium-111	^{111}In	49	2.80 d	ec	171 (90%), 245 (94%)	-
iodine-123	^{123}I	53	13.3 h	ec	159 (83%)	-
xenon-133	^{133}Xe	54	5.24 d	β^-	81 (31%)	0.364 (99%)
thallium-201	^{201}Tl	81	3.04 d	ec	69-83* (94%), 167 (10%)	-
Therapy:						
yttrium-90	^{90}Y	39	2.67 d	β^-	-	2.280 (100%)
iodine-131	^{131}I	53	8.02 d	β^-	364 (81%)	0.807 (100%)

PERCHE'?



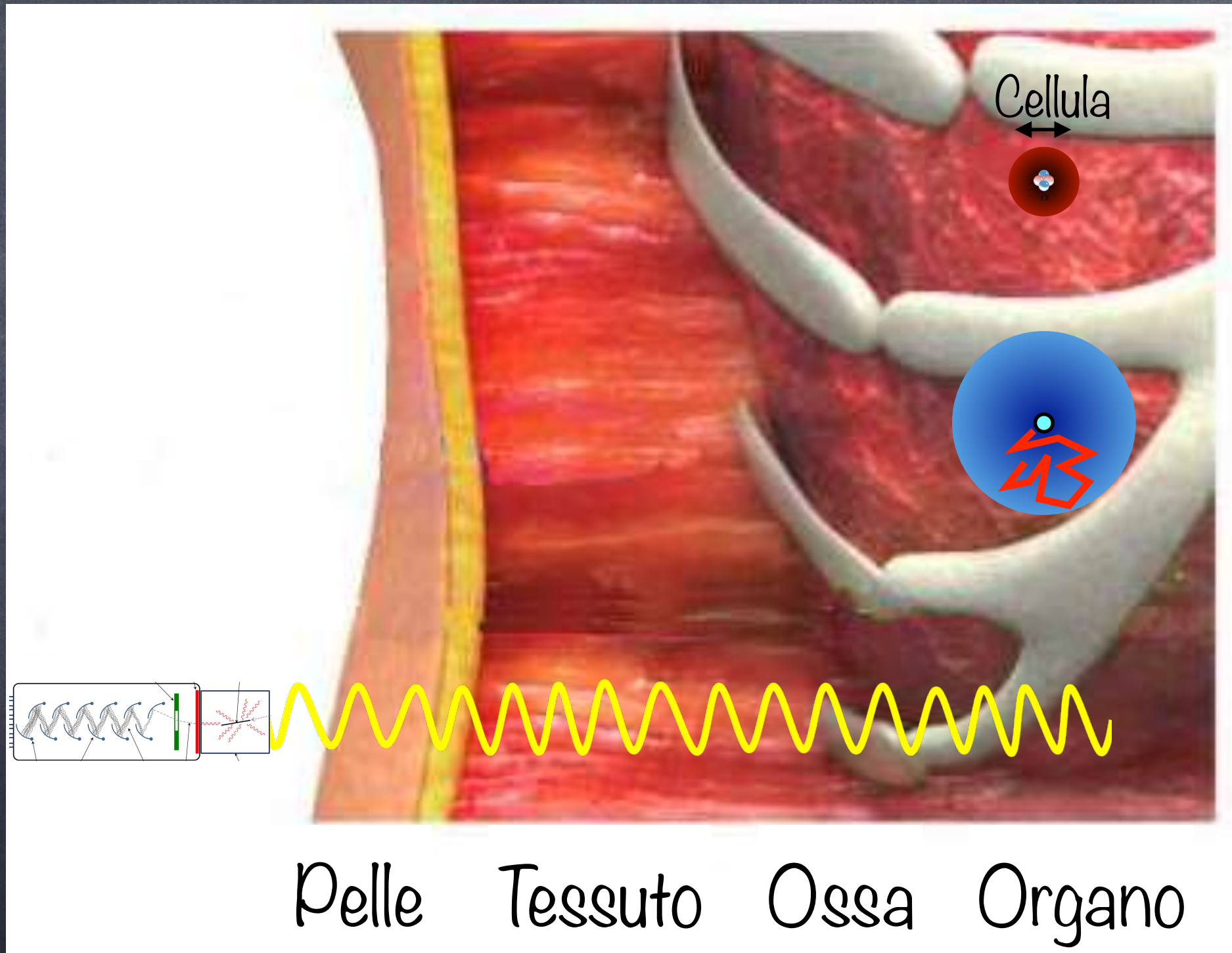
PERCHE'?



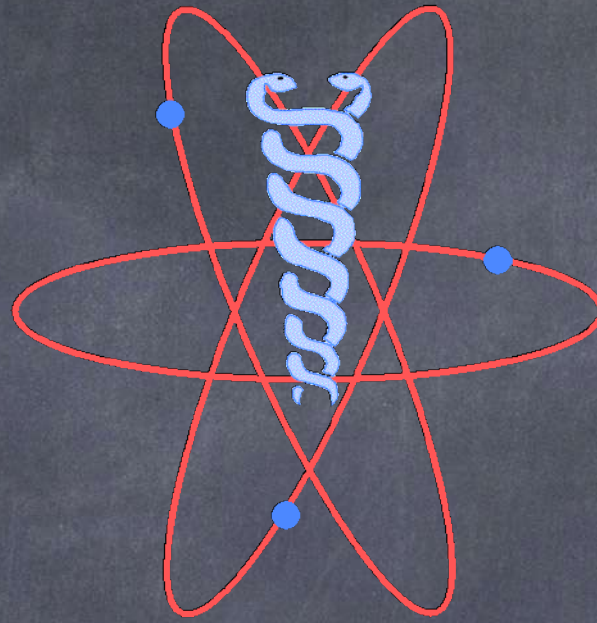
PERCHE'?

Terapia

Diagnostica



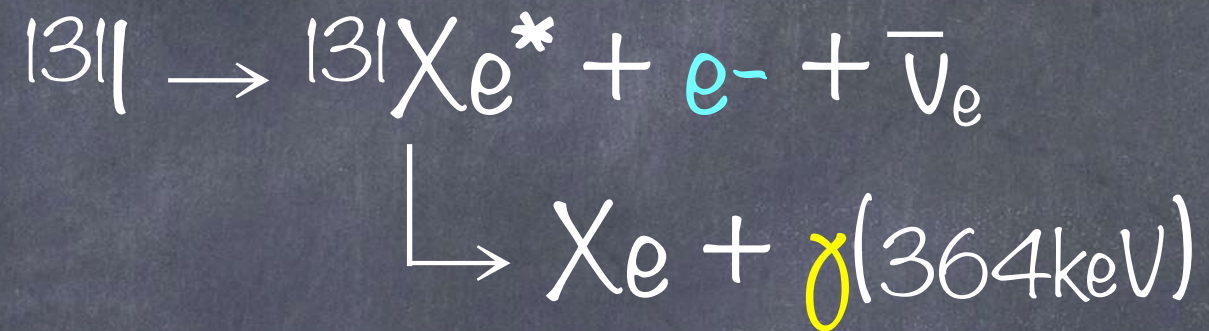
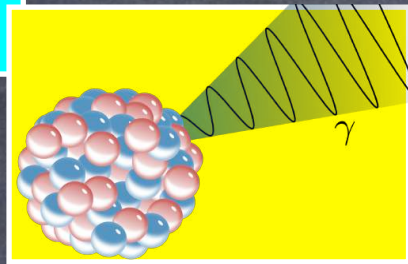
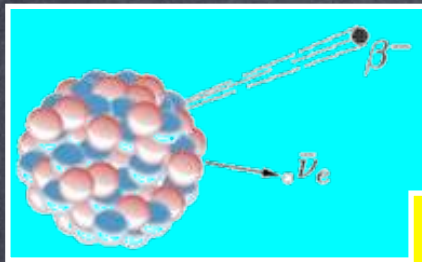
Pelle Tessuto Ossa Organo



TERAPIA



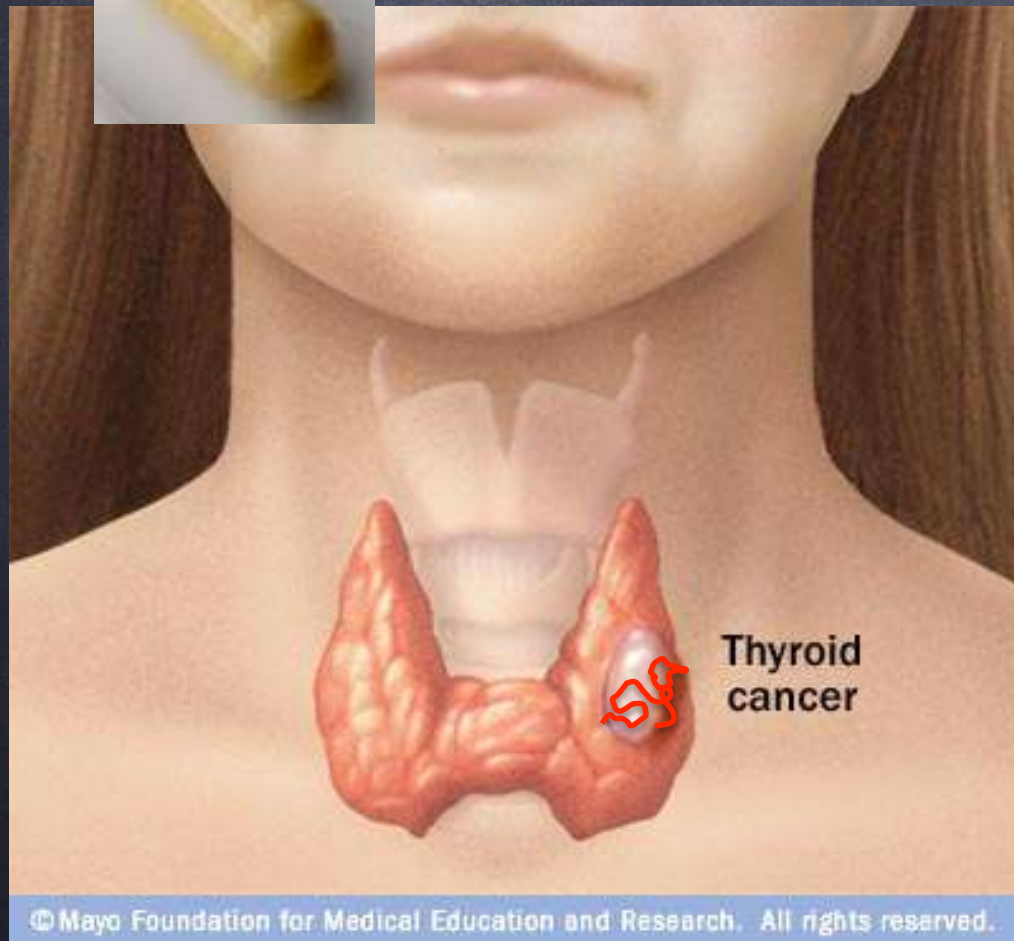
^{131}I



- 4 neutroni in più del ^{127}I iodio stabile
- **Decadimento β^-** allo stato eccitato del Xe
- $\tau_{1/2} = 8$ giorni
- Energia dell'elettrone fino a 606 keV
- Prodotto per attivazione neutronica del tellurio (fissione)
- Applicazione: Terapia radiometabolica di ipertiroidismo o carcinoma tiroideo

RADIOTERAPIA

- **Attività elevata** per uccidere il tessuto canceroso $\sim 100 \text{ MBq/kg}$
- **Dose assorbita elevata** $\Rightarrow$ somministrazione di protettori per organi radiosensibili (reni, intestino,...)



● Radioterapia Metabolica

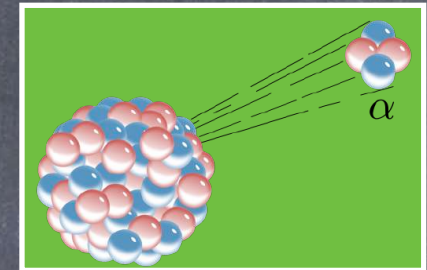
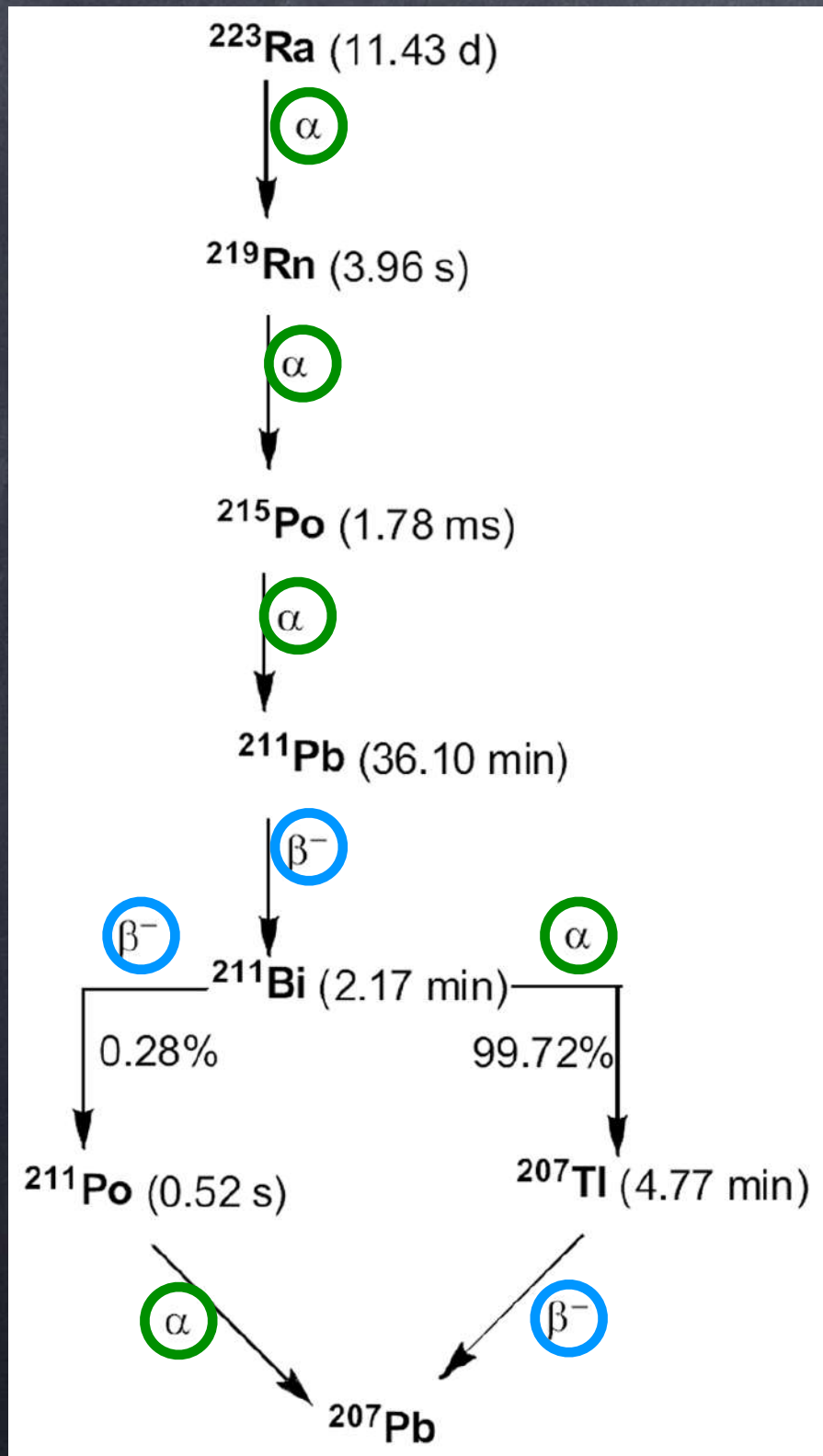
- somministrazione endovenosa o per ingestione
- Determinante la conoscenza della bio-distribuzione (il radiofarmaco)

● Brachiterapia

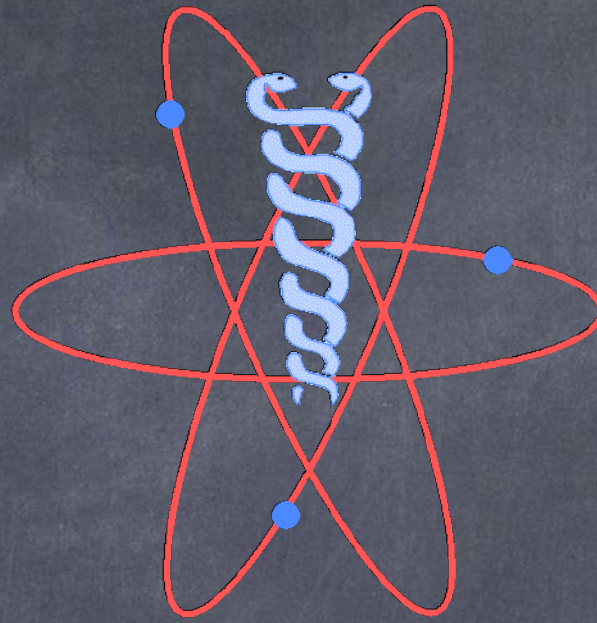
- sorgenti sigillate posizionate nella lesione

© Mayo Foundation for Medical Education and Research. All rights reserved.

223-RADIO



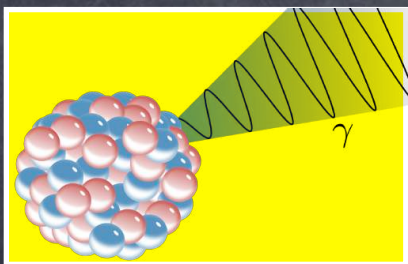
- Catena di **decadimenti α**
- Prodotto dall'elemento naturale ^{226}Ra per attivazione neutronica
- Applicazione: Terapia delle metastasi ossee
 - **Radio: struttura chimica simile al Calcio**
- Iniezione endovenosa ed eliminato per via intestinale
- Brachiterapia con aghi da 5mm inseriti nella lesione



DIAGNOSTICA



^{99m}Tc -TECNEZIO



• ^{99m}Tc isomero (stato eccitato) metastabile dell'isotopo ^{99}Tc

• $\tau_{1/2} = 6\text{ h}$ (>93% decade in 1 giorno)

• Prodotto per eluizione dal generatore ^{99}Mo

• ^{99}Mo $\tau_{1/2} = 66\text{ h}$, per fissione in reattori nucleari

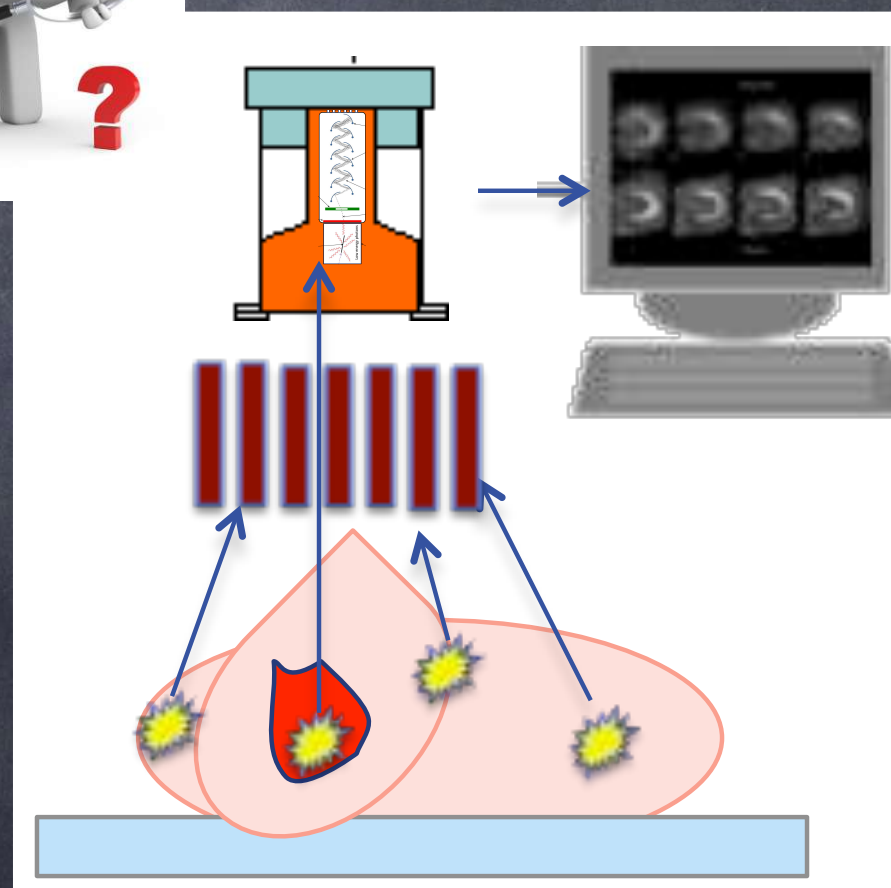
• Applicazione: **imaging diagnostico**

• **Emissione γ** con energia 140 keV

• rivelabile con Gamma Camera e finestra energetica



Gamma Camera

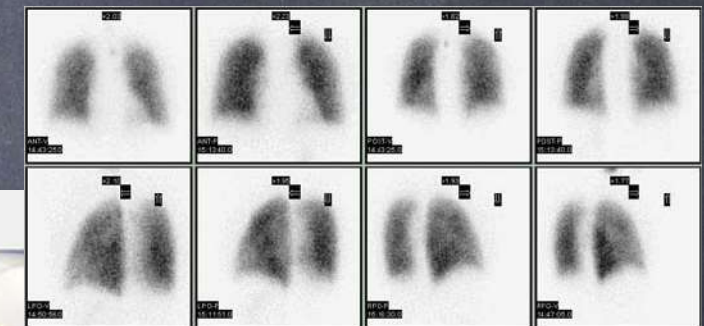
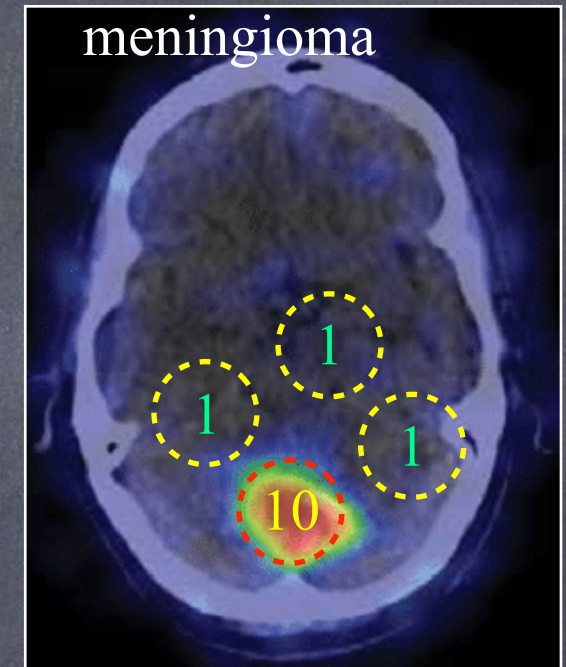




SPECT

Single **P**hoton **E**mission **C**omputed **T**omography

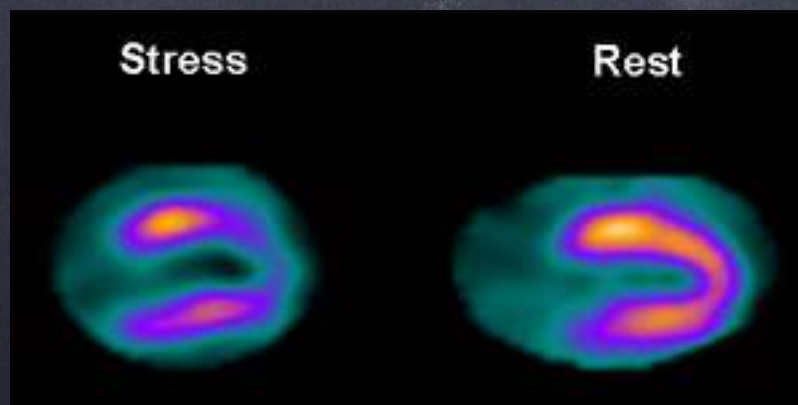
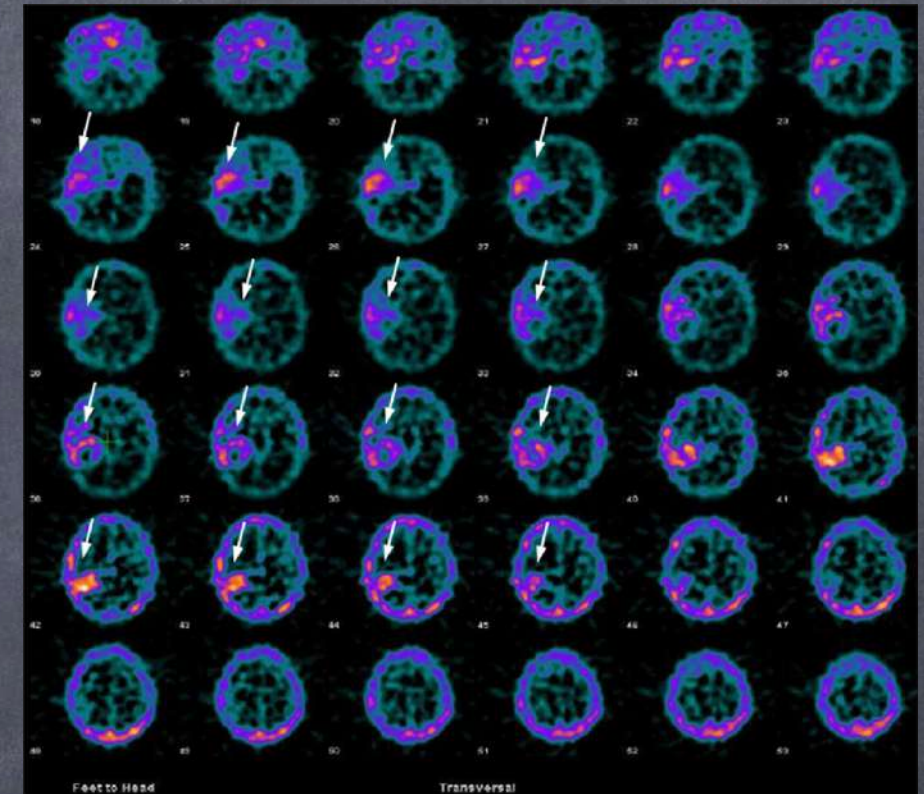
- 👁 mappe di localizzazione del radiotracciante
- 👁 successione di acquisizioni planari a vari angoli
+ ricostruzione 3D software
- 👁 successione temporale => biocinetica
- 👁 bassa risoluzione rispetto a CT e NMR





SPECT

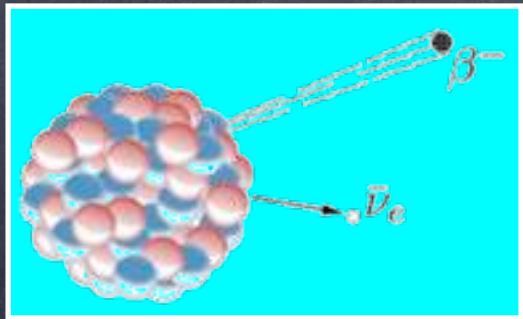
- Attività di somministrazione $\sim \text{MBq/kg}$
- Dose assorbita $\sim 10 \text{ mSv}$
- Imaging diagnostico per
 - notizie su funzionamento di cuore, polmone, tiroide, ...
 - localizzazione di tessuti anomali (metastasi)
 - visualizzazione del flusso sanguigno



Myocardial Perfusion SPECT



18-FLUORO



Decadimento β^{+}

il positrone e^{+} è l'antiparticella dell'elettrone

- stesse caratteristiche e carica opposta

- annichila $e^{-}e^{+}$ generando 2 fotoni da 511 keV

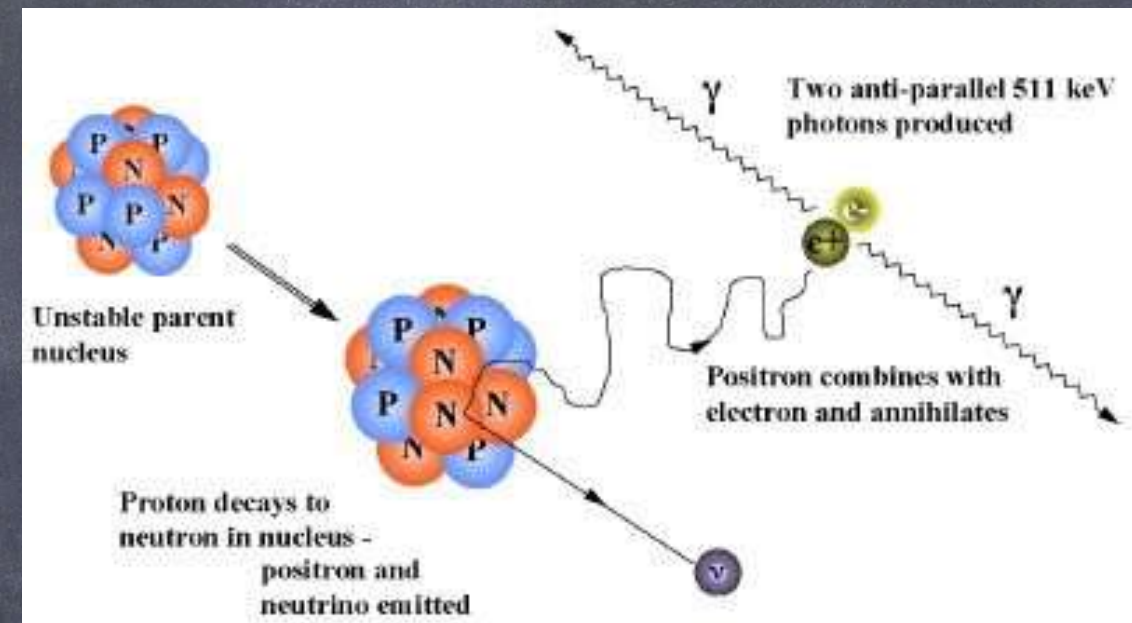
$\tau_{1/2} = 110$ minuti

Prodotto in ciclotrone

- bombardamento protonico di acqua arricchita con ^{18}O

^{18}F -FDG Radiotracciante

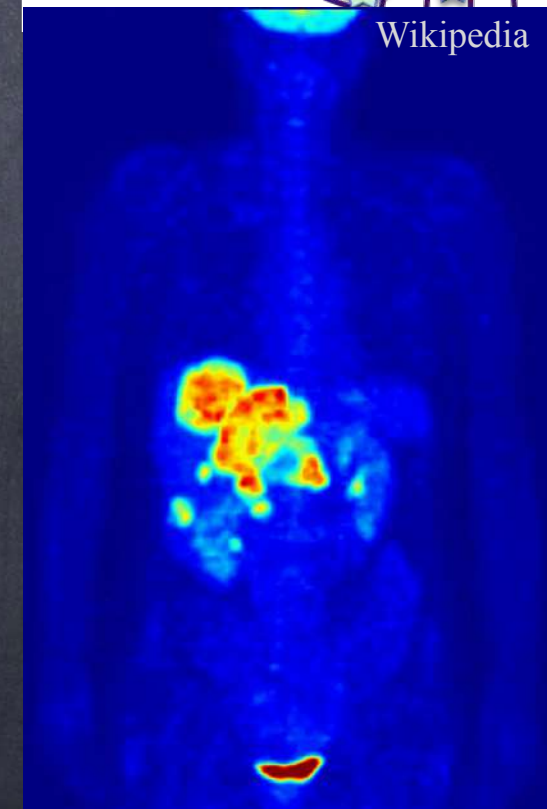
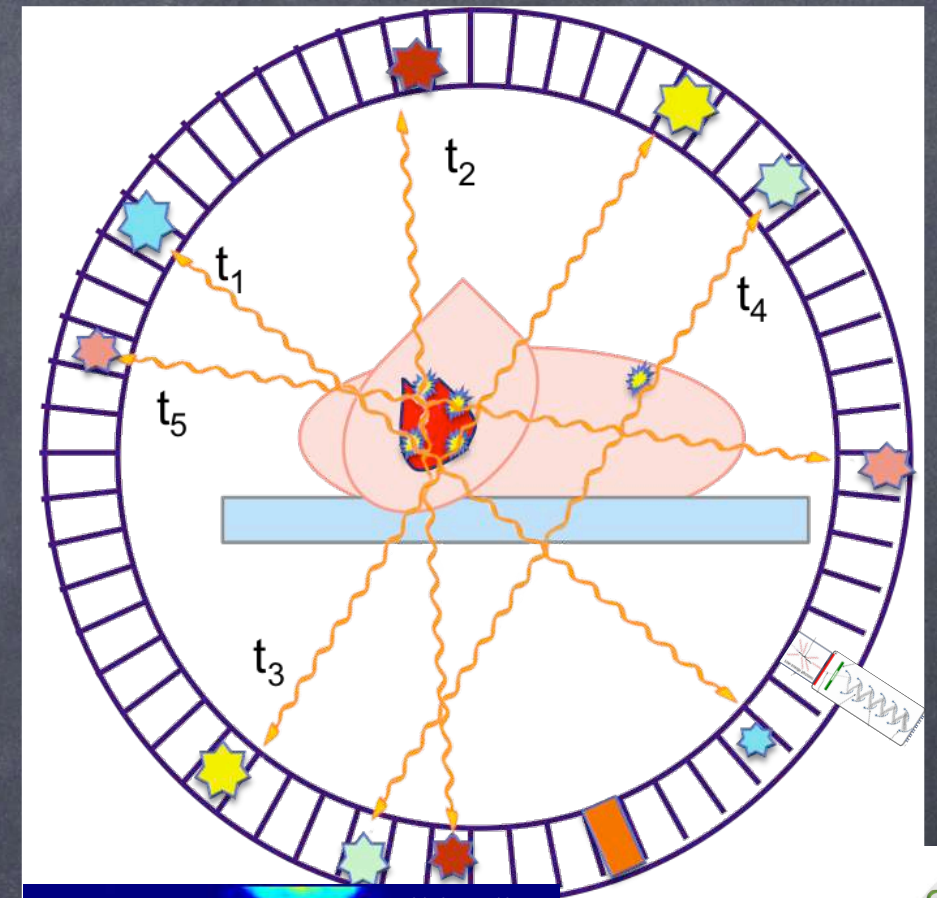
- I tumori sono avidi di zucchero e assorbono molto glucosio

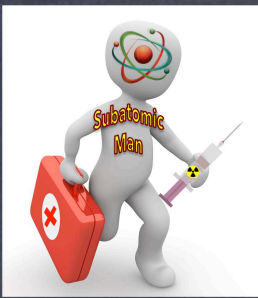




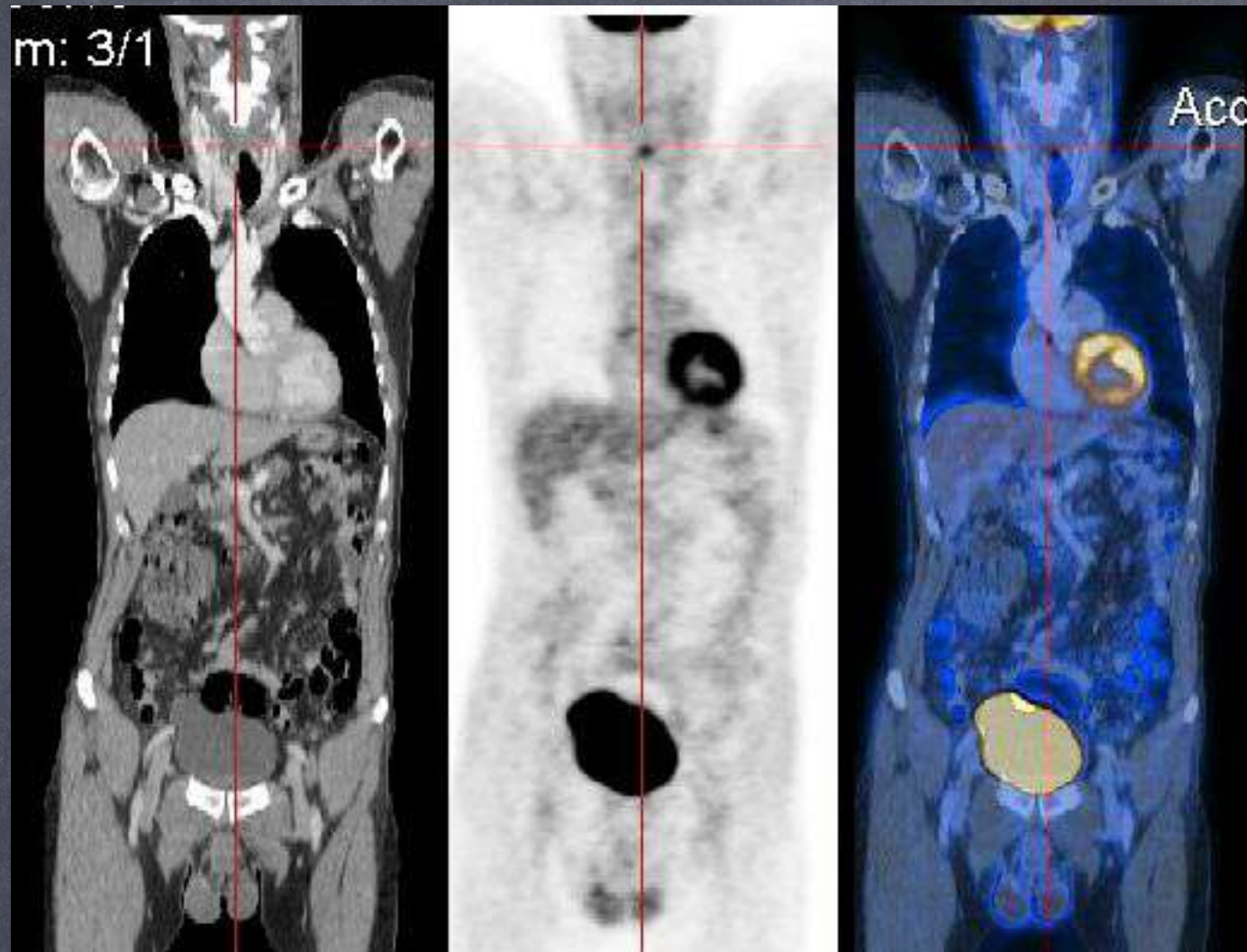
PET

- Positron Emission Tomography
- 2 fotoni allineati ed opposti in coincidenza temporale
- Buona risoluzione spaziale 3-4 mm
- PET: mappe dei processi funzionali all'interno del corpo (info fisiologiche)





PET/CT

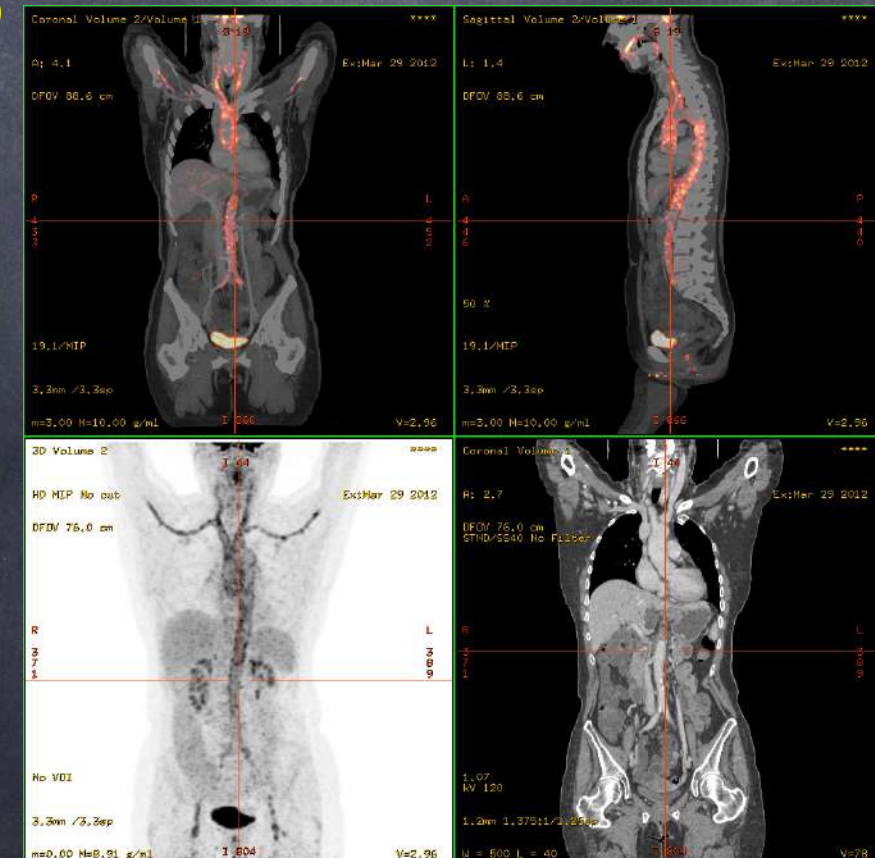


- In combinazione con **C**omputed **T**omography a raggi X
 - **CT**: info anatomiche e morfologiche (come e' fatto?)
 - **PET**: info metaboliche (come funziona?)



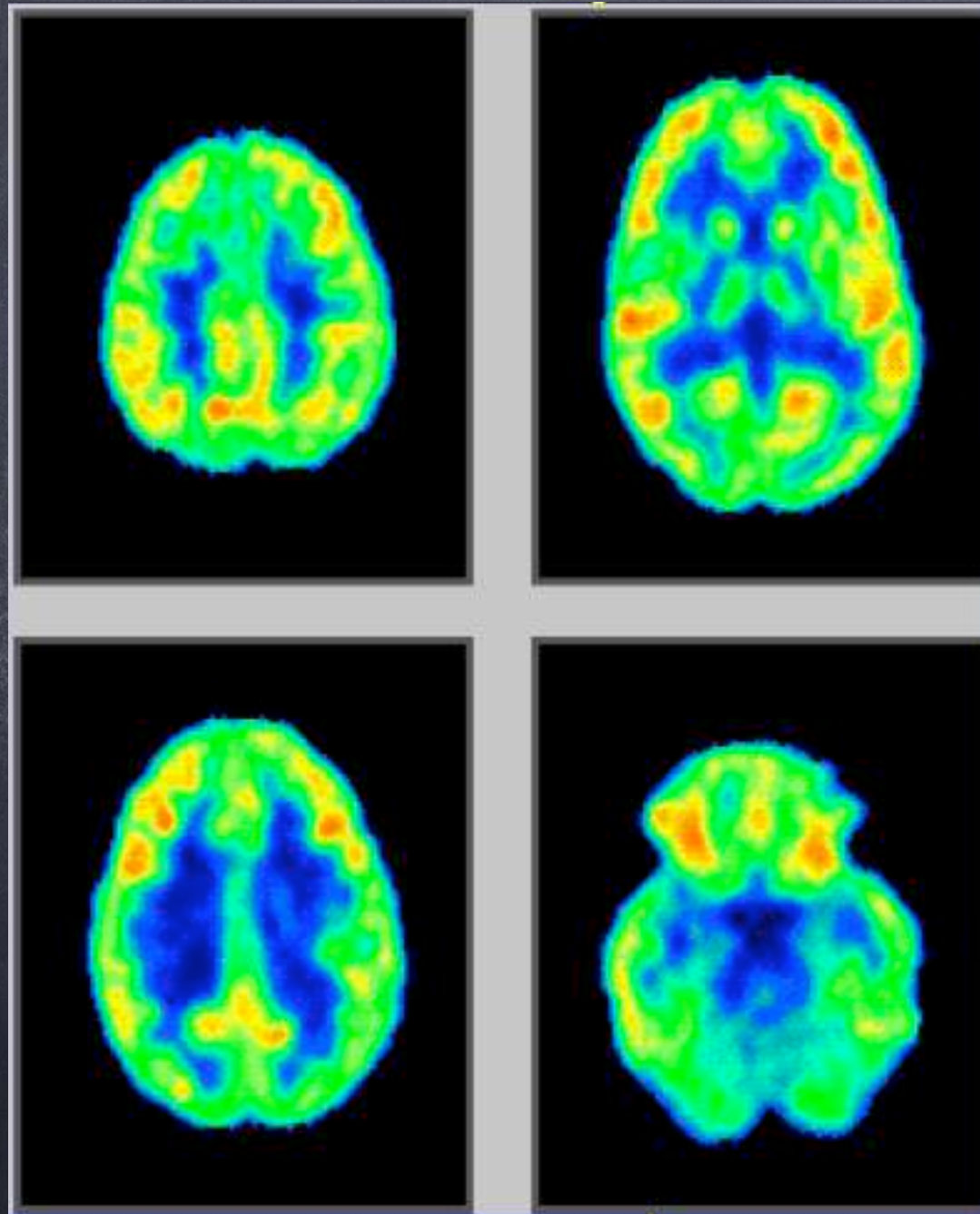
PET

- Attività di somministrazione ~MBq/kg
- Dose assorbita ~15 mSv
- Imaging diagnostico con PET per
 - monitorare progressione del tumore e efficacia della cura
 - valutazione del metabolismo di cuore, encefalo
 - diagnosi di Alzheimer
 - ...

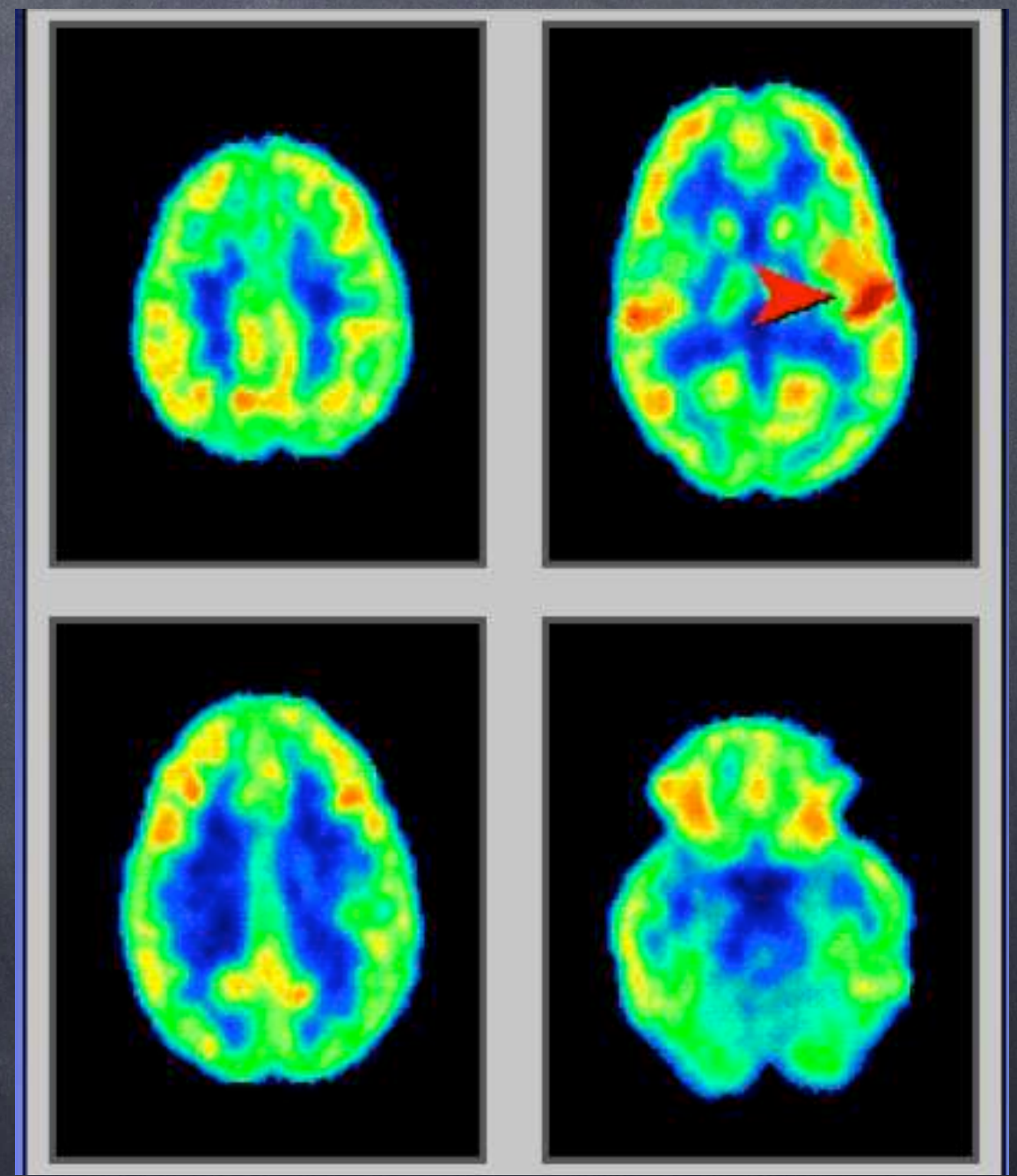


PET: ENCEFALO

A RIPOSO

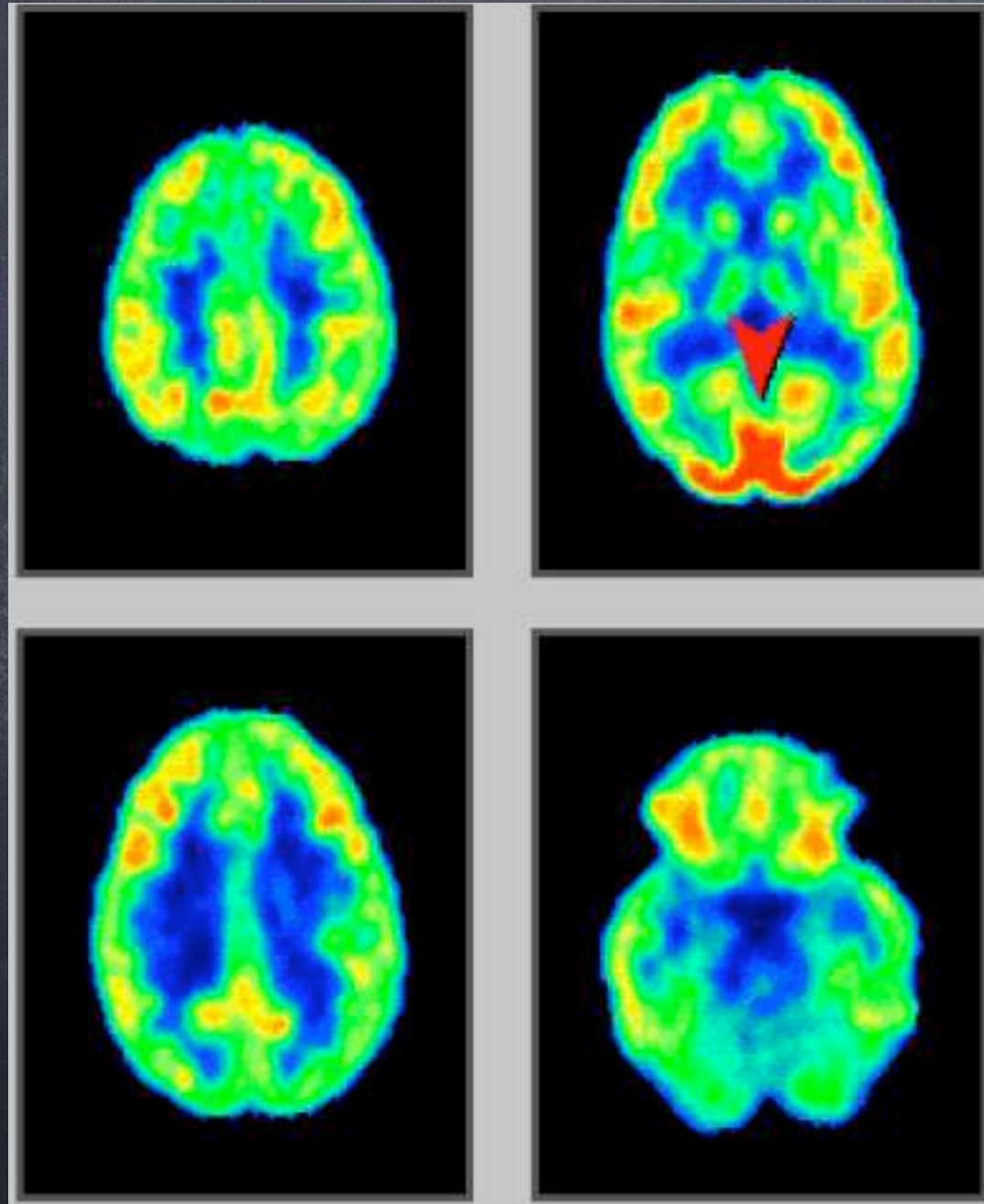


ASCOLTANDO MUSICA

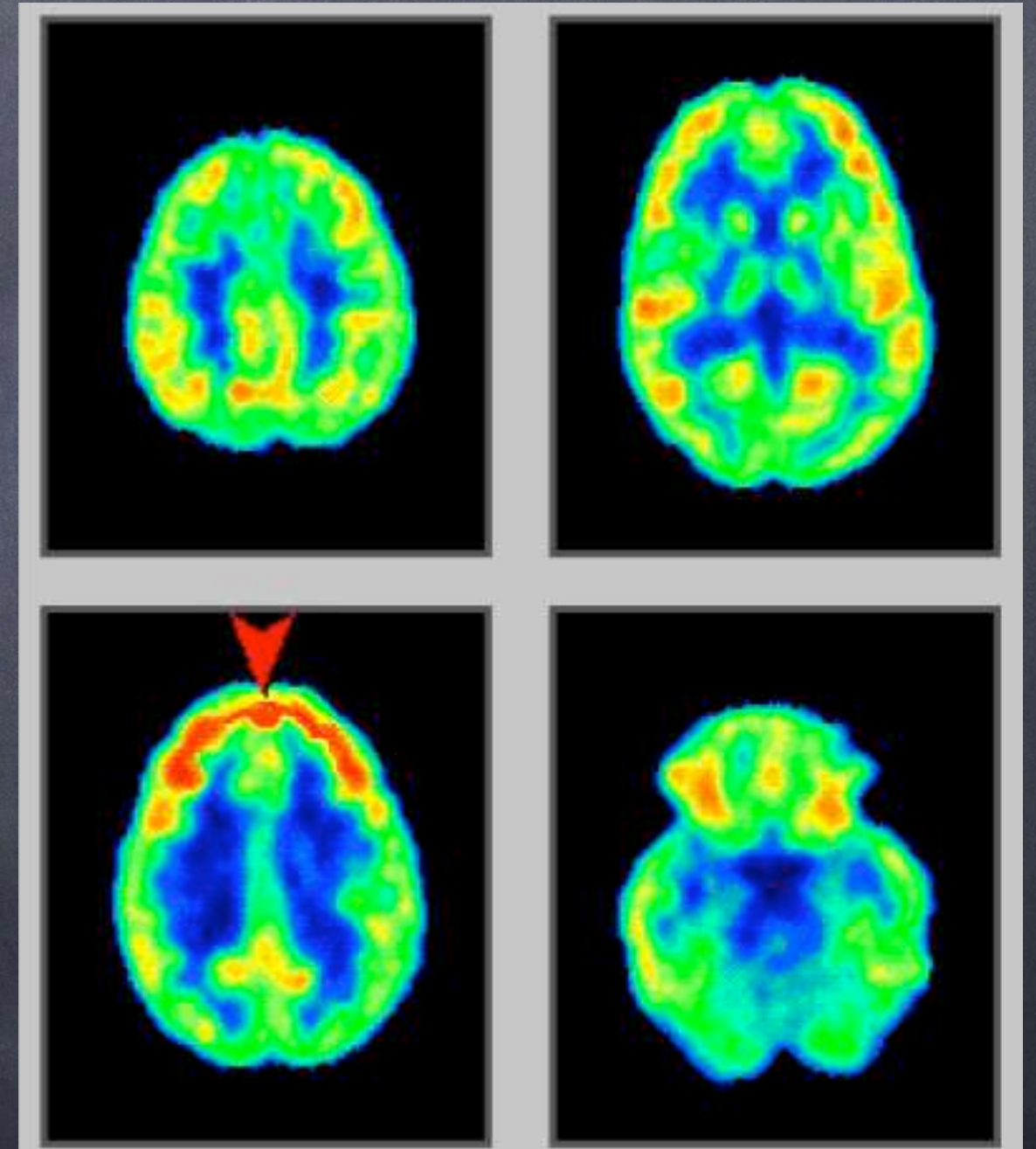


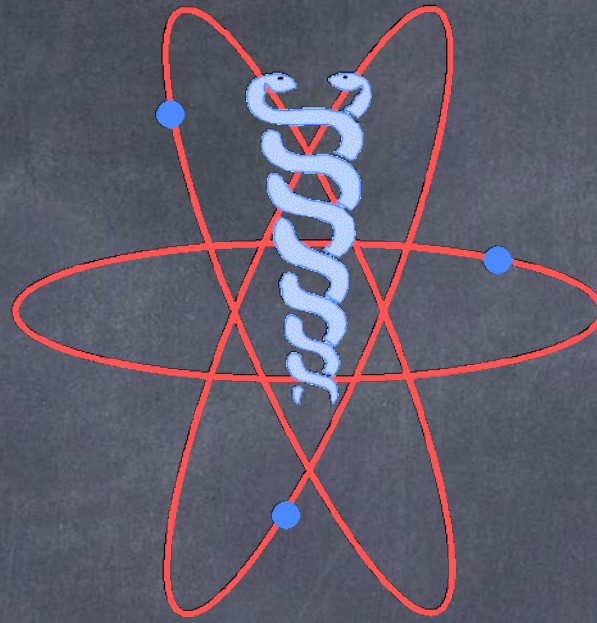
PET: ENCEFALO

STIMOLO VISIVO



ATTIVITA' INTELLETTUALE



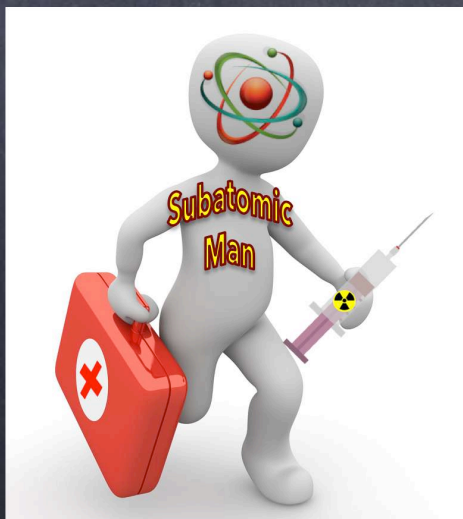


MA NON SOLO



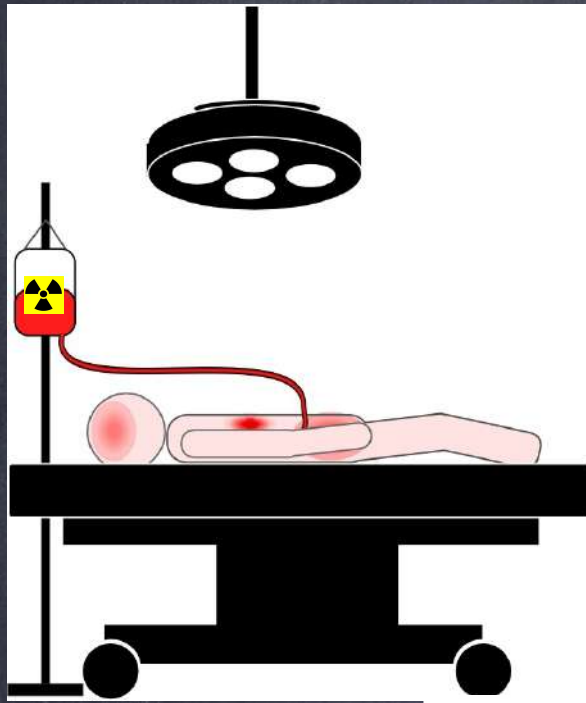
CHIRURGIA RADIO GUIDATA

RGS: Il SESTO senso del chirurgo



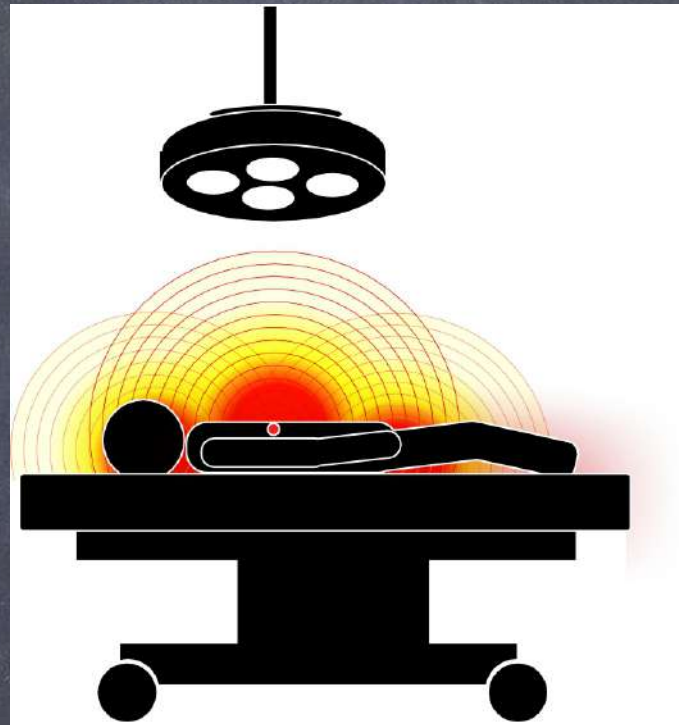
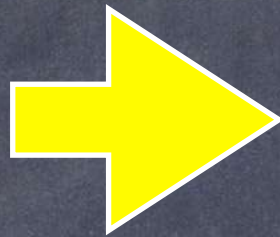
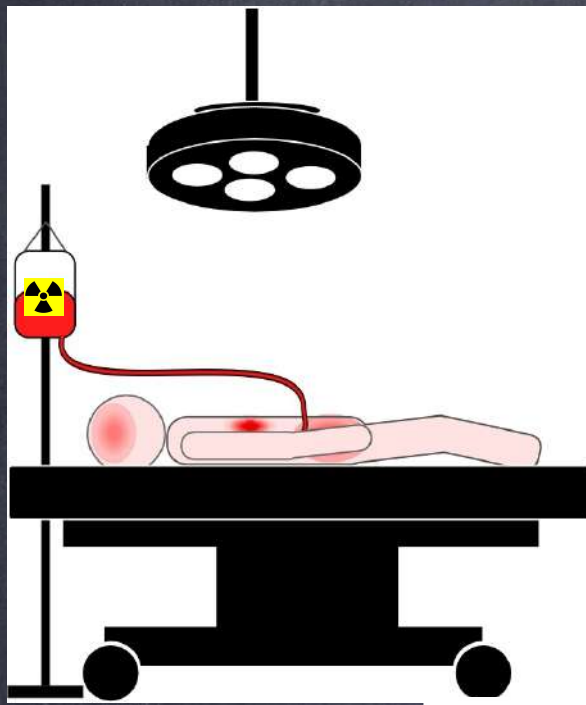
CHIRURGIA RADIOGUIDATA

RGS: il SESTO senso del chirurgo



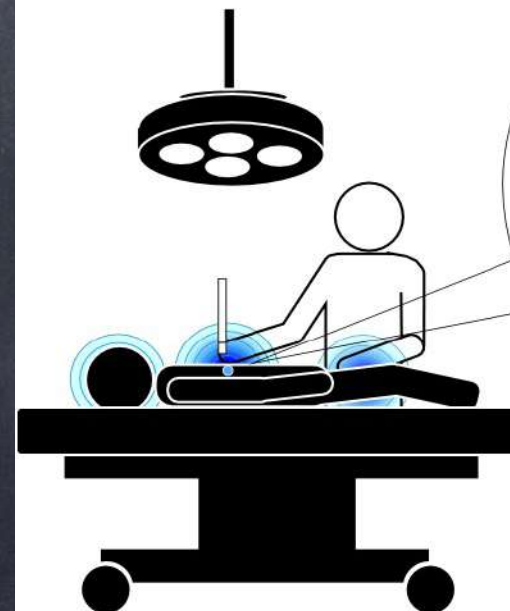
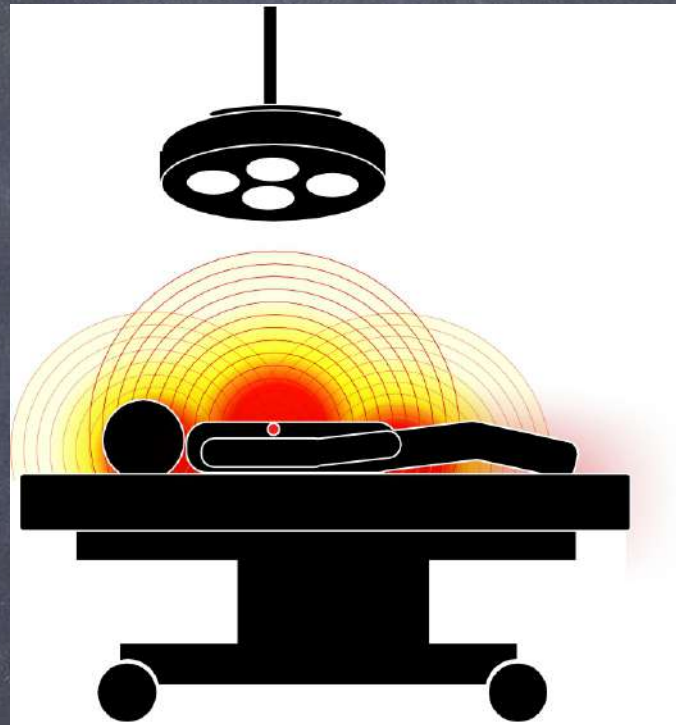
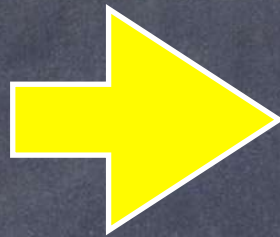
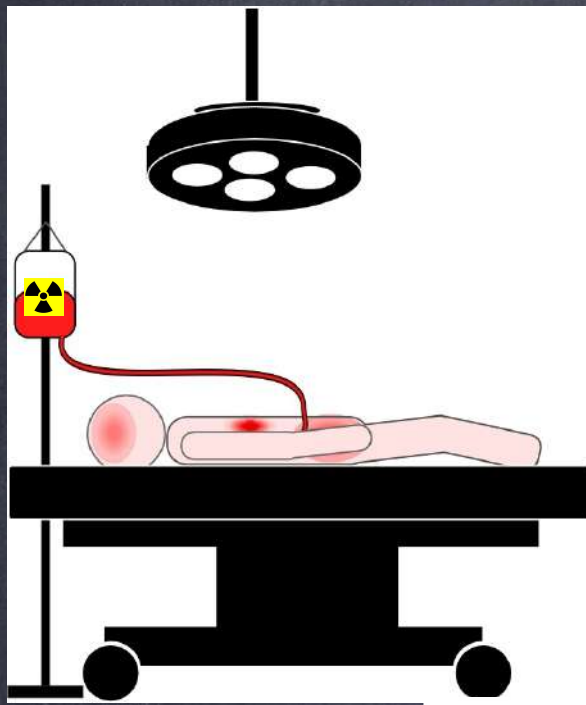
CHIRURGIA RADIOGUIDATA

RGS: il SESTO senso del chirurgo

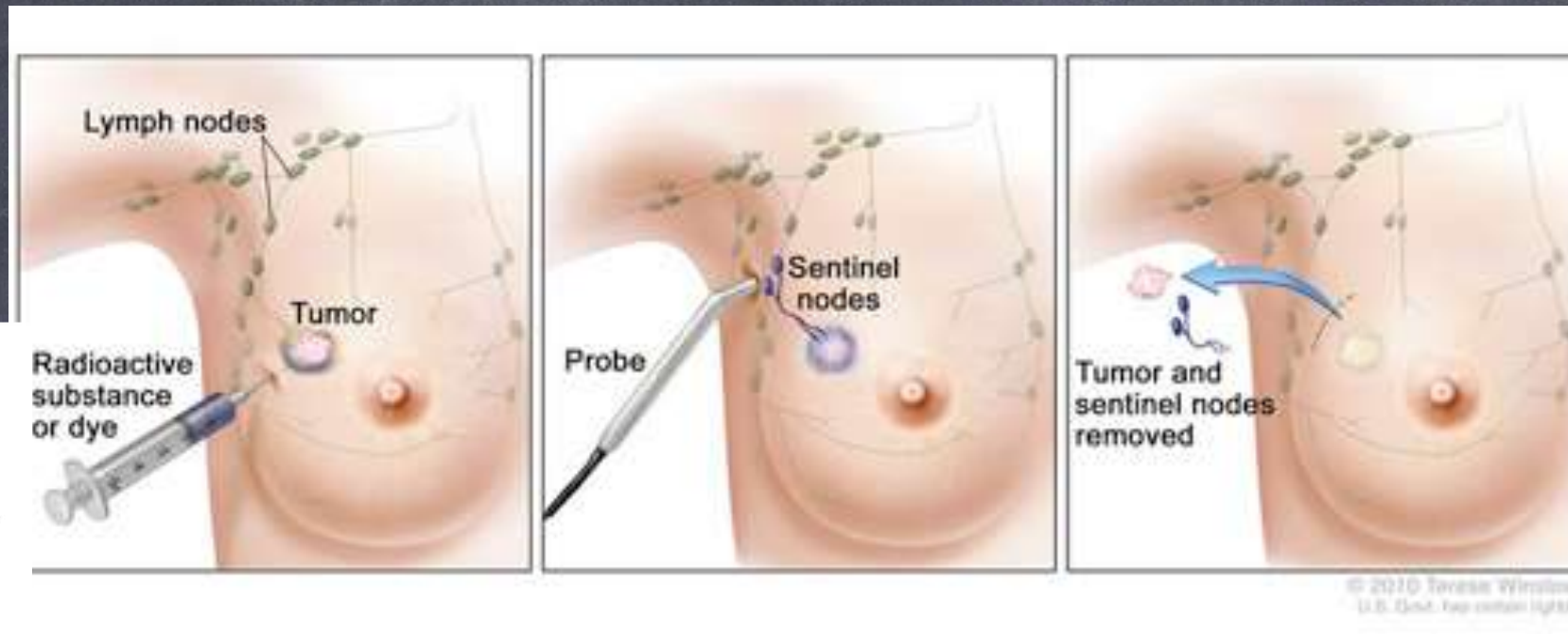


CHIRURGIA RADIOGUIDATA

RGS: IL SESTO senso del chirurgo



LINFONODO SENTINELLA

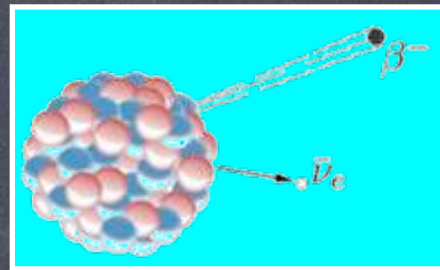
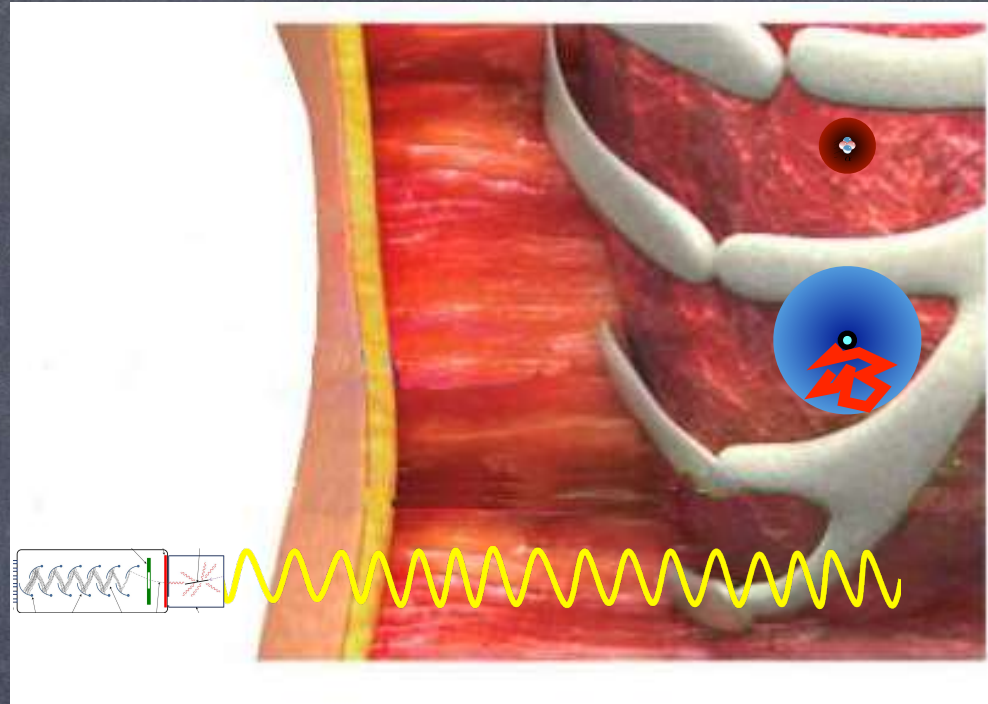
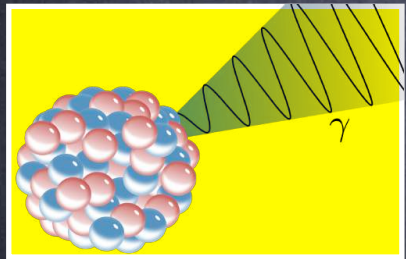


Stadiazione del tumore della mammella

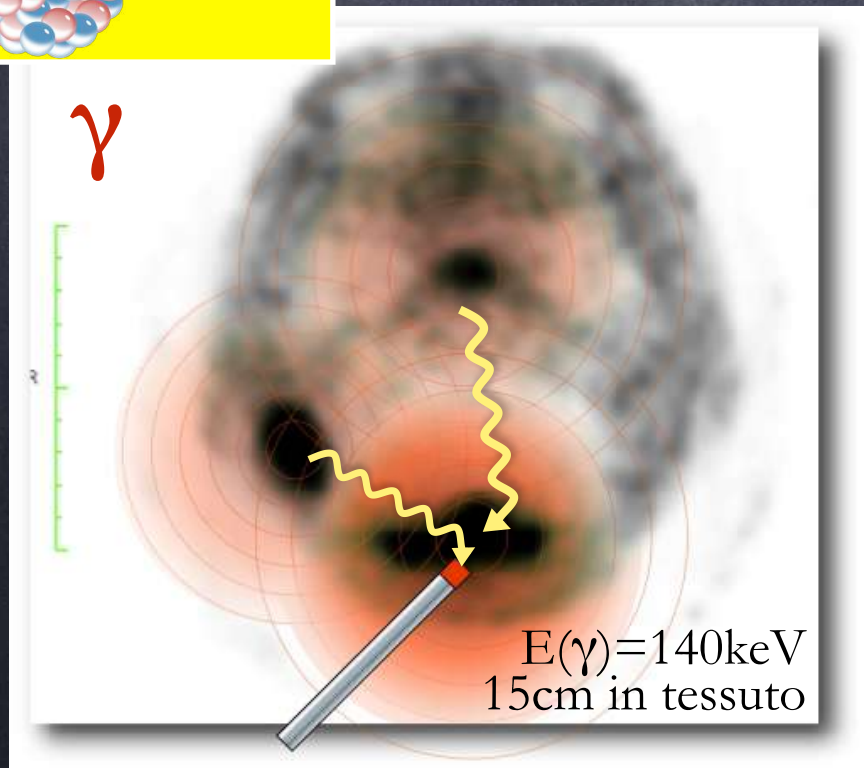
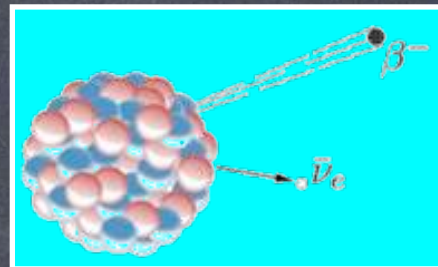
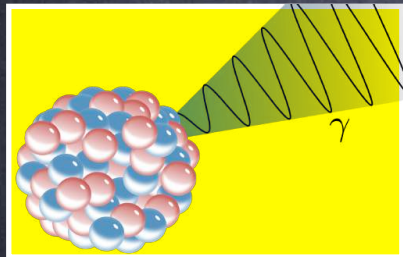
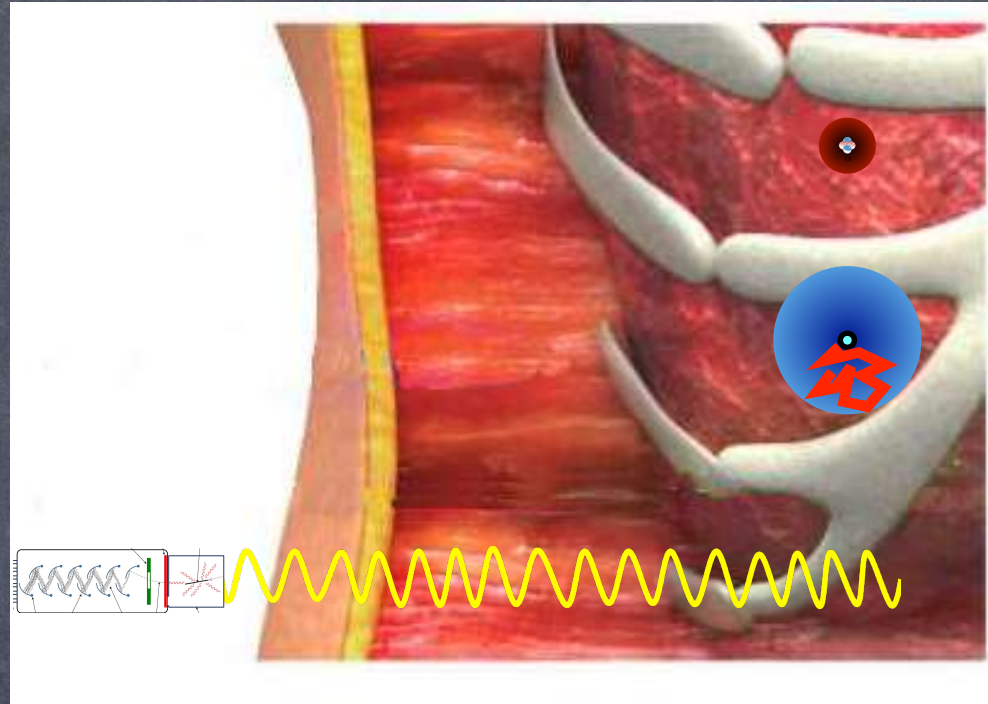
1. Iniezione in via linfatica
 - **colloide radiomarcato: molecola che mima la diffusione della cellula tumorale nella via linfatica**
2. Gamma camera/sonda per rivelare linfonodo captante
3. Asportazione ed esame istologico estemporaneo



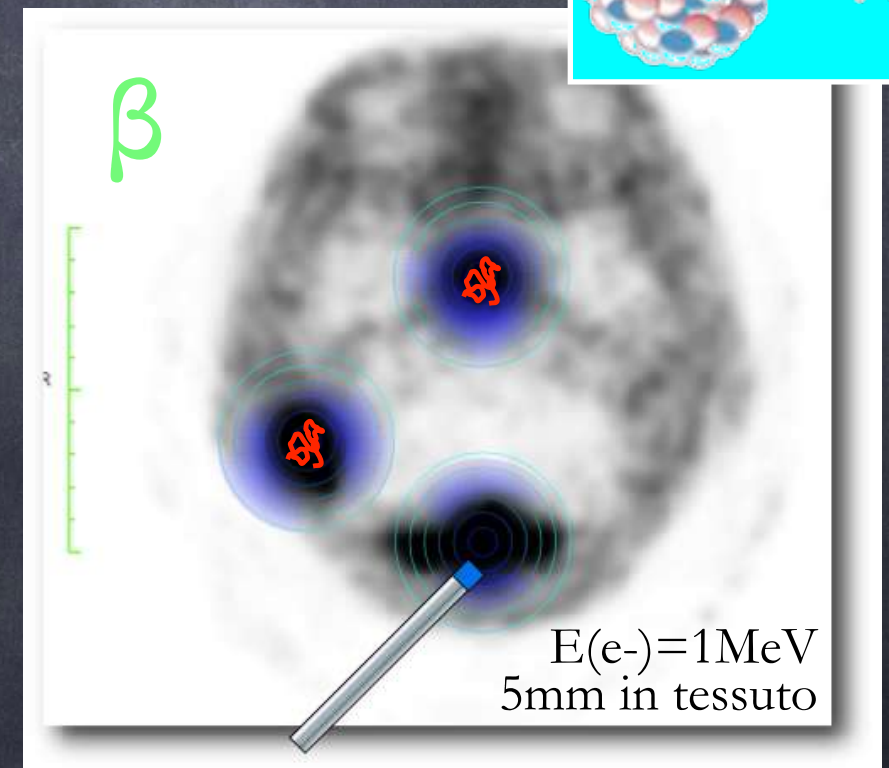
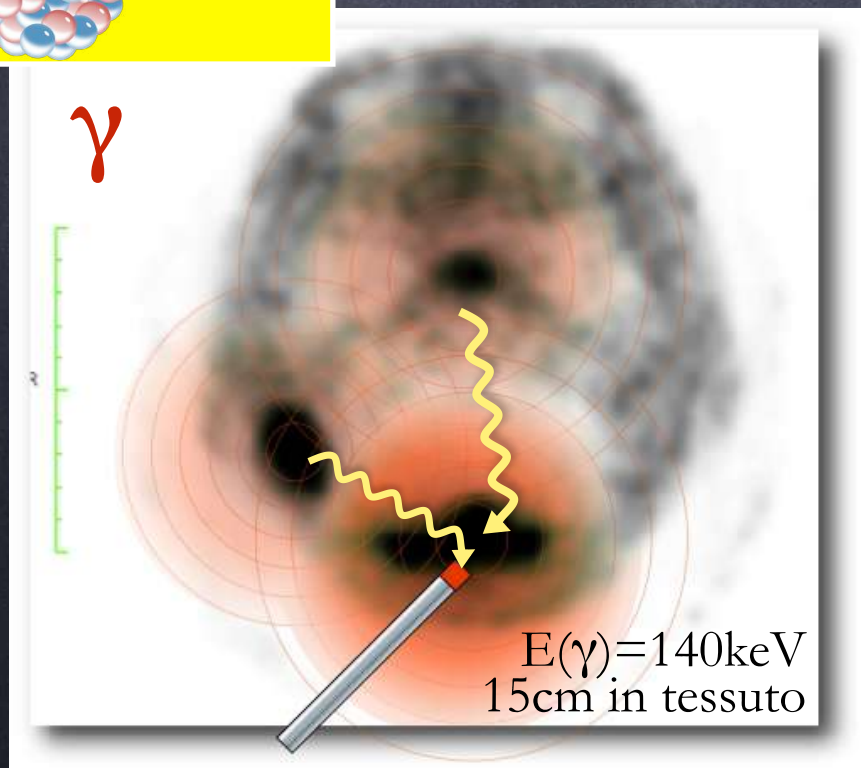
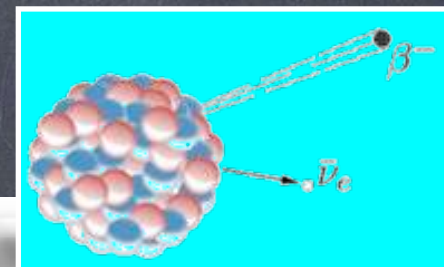
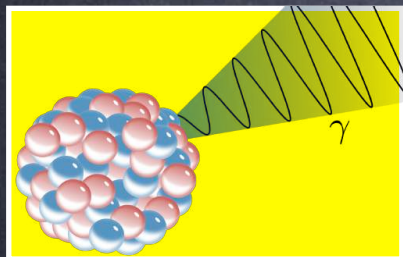
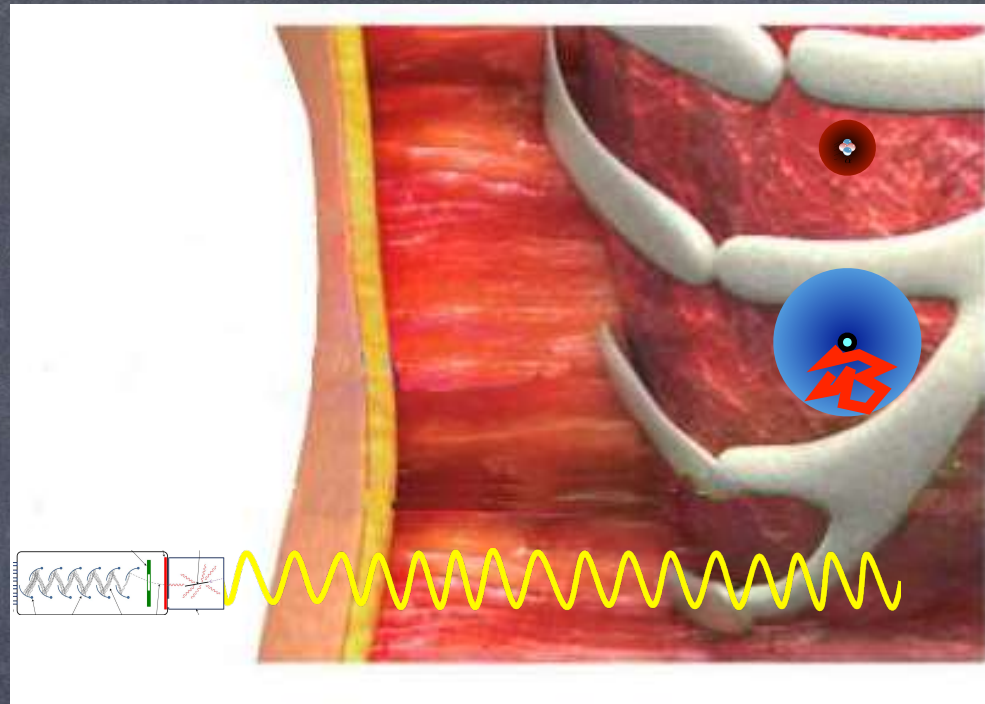
β o γ : CHE DIFFERENZA FA?

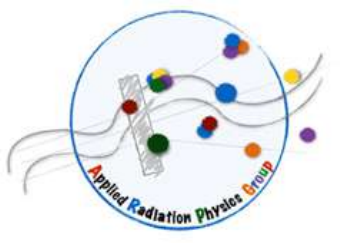


β o γ : CHE DIFFERENZA FA?



β o γ : CHE DIFFERENZA FA?





RGS & RADIAZIONE β^-

Perche' β^-

Elettroni percorrono pochi mm in tessuto biologico $\rightarrow$ fondo trascurabile:

- Migliore **delineazione della lesione**
- **Minore attività** da iniettare



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



RGS & RADIAZIONE β^-

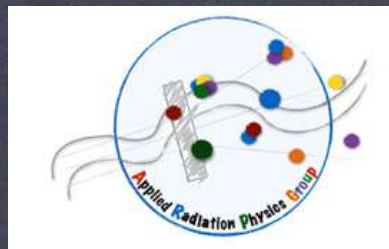
Perche' β^-

Elettroni percorrono pochi mm in tessuto biologico $\rightarrow$ fondo trascurabile:

- Migliore **delineazione della lesione**
- **Minore attività** da iniettare
- Possibilità di **estendere** la RGS a
 - **tumori addominali**
 - **tumori cerebrali**
 - **neoplasie pediatriche**



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



RGS & RADIAZIONE β^-

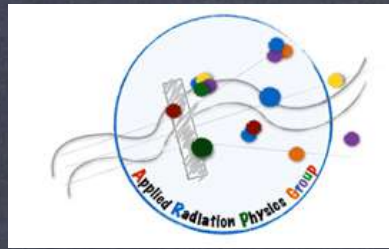
Perche' β^-

Elettroni percorrono pochi mm in tessuto biologico $\rightarrow$ fondo trascurabile:

- Migliore **delineazione della lesione**
- **Minore attività** da iniettare
- Possibilità di **estendere** la R
 - tumori addominali
 - tumori cerebrali
 - neoplasie pediatriche



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

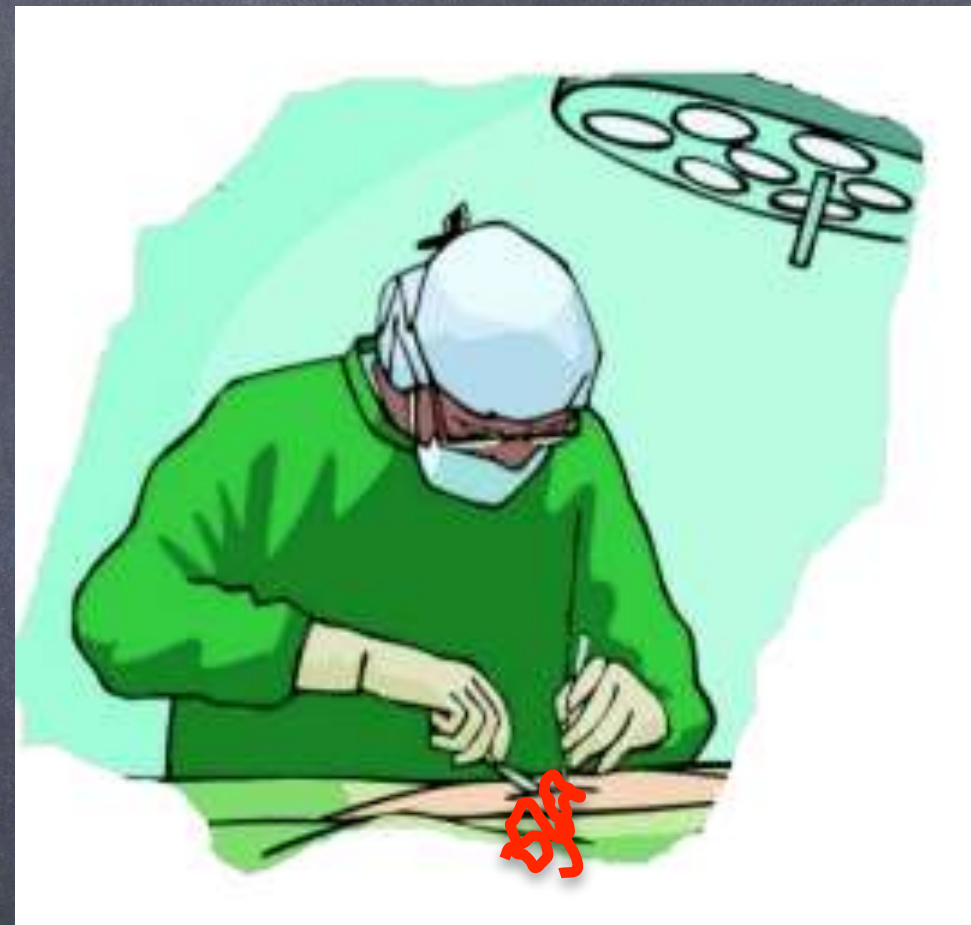


RADIOESPOSIZIONE

Radiazione γ

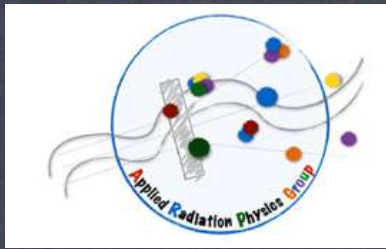


Radiazione β^-

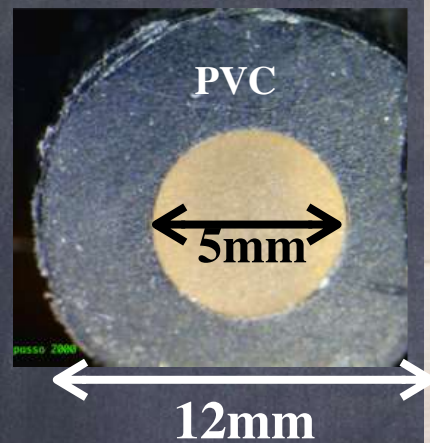


Elettroni poco penetranti

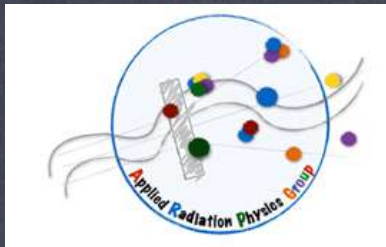
► Radio-esposizione quasi trascurabile



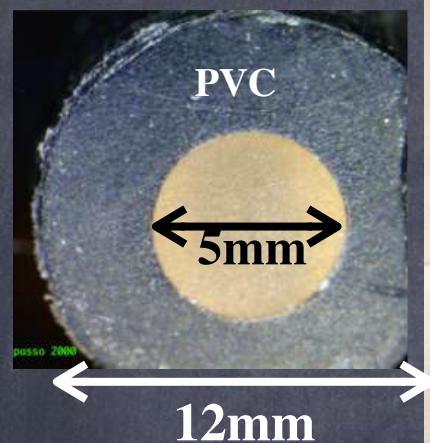
LA SONDA β^-



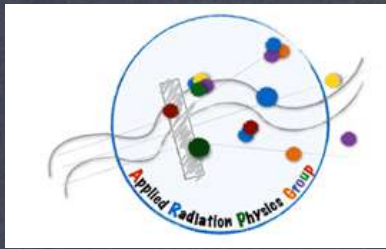
In grado di identificare **piccole lesioni** (0.1 ml o meno) entro **1s** con somministrazioni di **$\sim 1\text{MBq/kg}$ di ^{90}Y** (dose al paziente comparabile con esami FDG-PET)



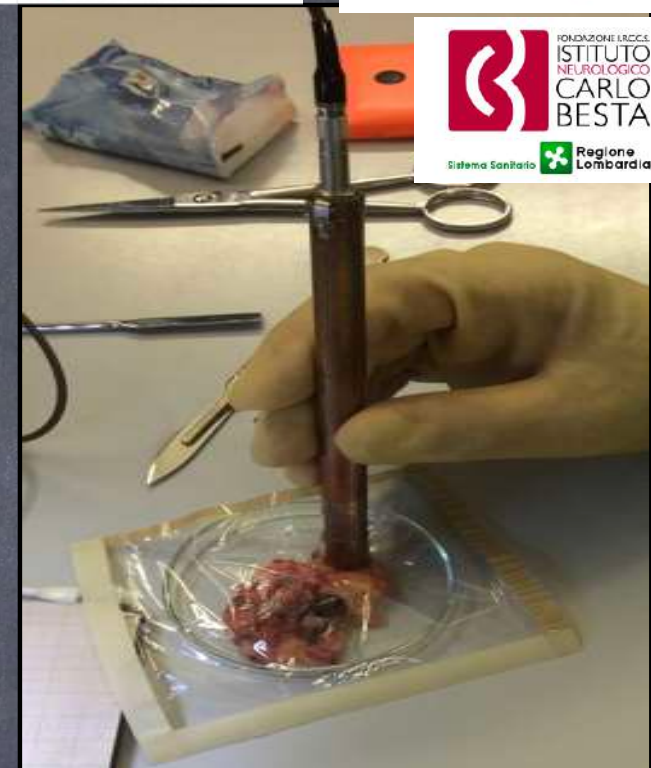
LA SONDA β^-



In grado di identificare **piccole lesioni** (0.1 ml o meno)
entro **1s** con somministrazioni di **$\sim 1\text{MBq/kg}$ di ^{90}Y**
(dose al paziente comparabile con esami FDG-PET)



DOVE SIAMO



✓ RGS con β -

validata in test clinici su campioni ex-vivo

- meningiomi cerebrali
- tumori neuroendocrini addominali

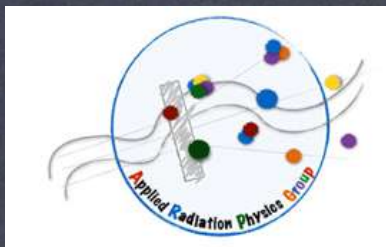
✓ Sonda intraoperatoria per radiazione β -

definita la tecnologia di base e caratterizzate le prestazioni;

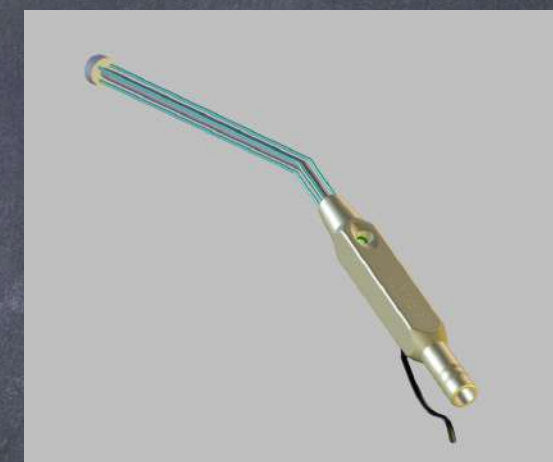
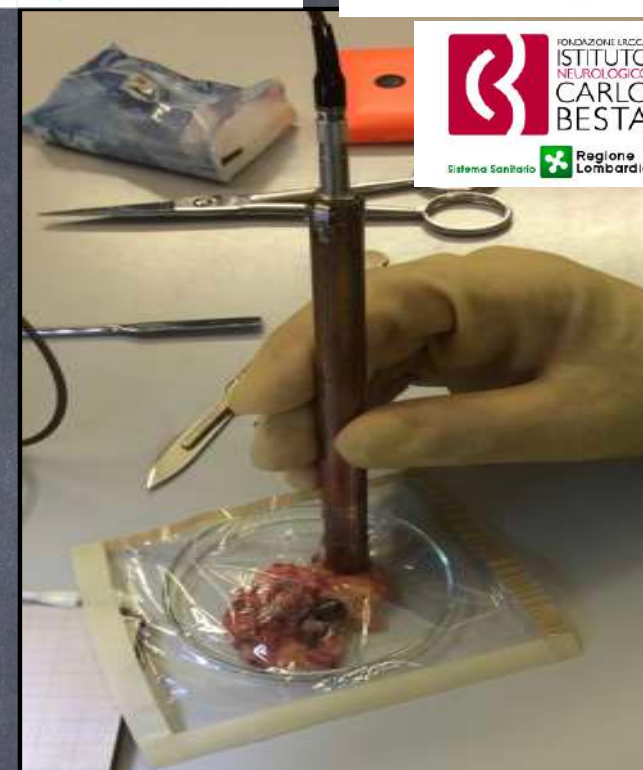
facilmente integrabile in strumenti chirurgici anche per endo/laparoscopia.

✓ R&D

rivelatore basato su tecnologia CMOS per maggiore sensibilità energetica e discriminazione γ/β



DOVE SIAMO



✓ RGS con β^-

validata in test clinici su campioni ex-vivo

- meningiomi cerebrali
- tumori neuroendocrini addominali

✓ Sonda intraoperatoria per radiazione β^-

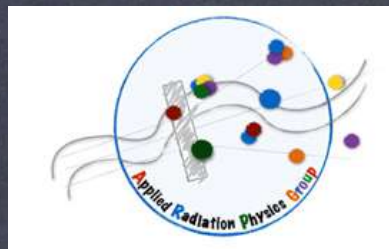
definita la tecnologia di base e caratterizzate le prestazioni;

facilmente integrabile in strumenti chirurgici anche per endo/laparoscopia.

✓ R&D

rivelatore basato su tecnologia CMOS per maggiore sensibilità energetica e discriminazione γ/β

Certificazione e commercializzazione della sonda β^-
→ test in vivo e sperimentazione clinica

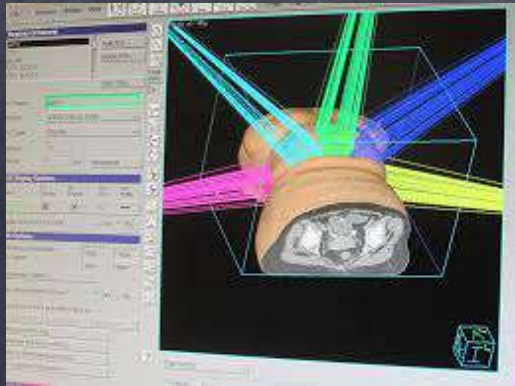


NUOVI RADIO-FARMACI

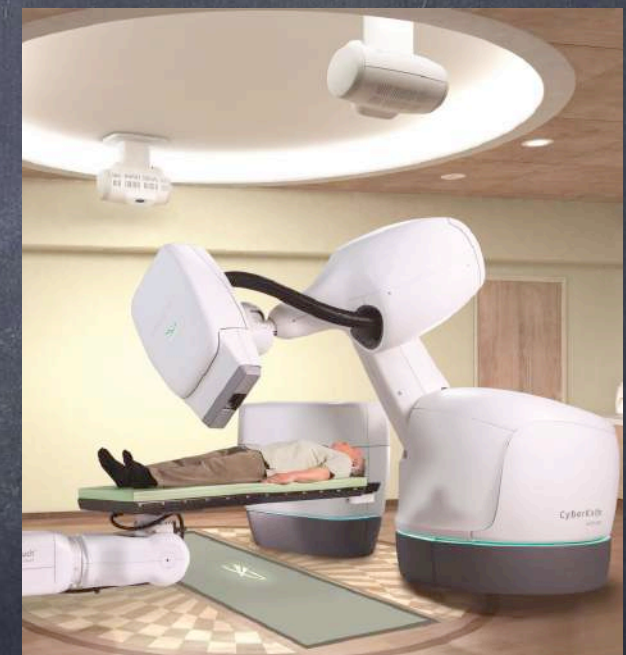
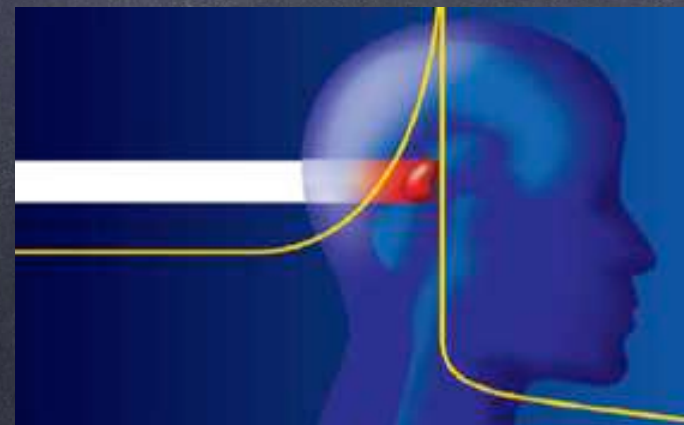
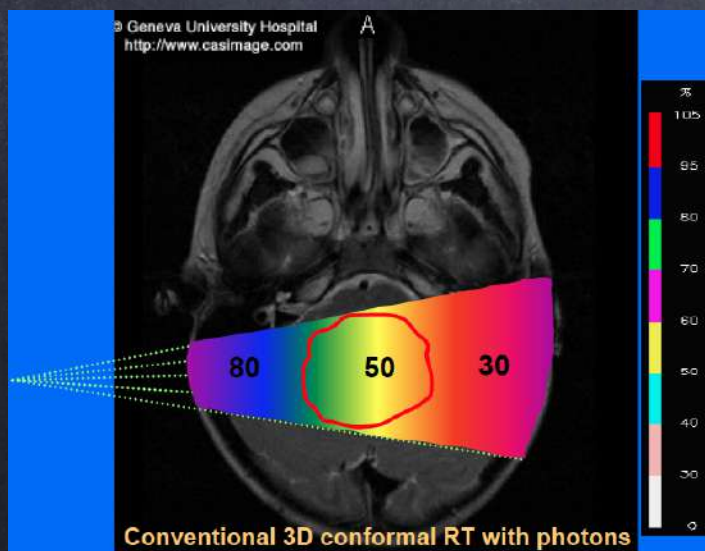
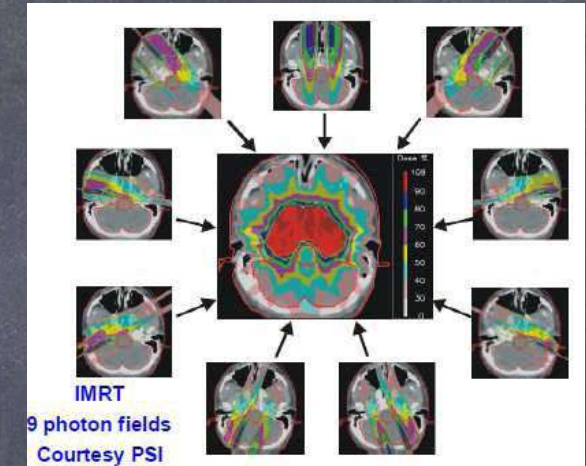
- Progetto e sviluppo di nuovi radiotraccianti emettitori β^-
 - sostituendo il radionuclide in un radiotracciante già in uso per imaging diagnostico PET/SPECT
 - ^{90}Y -MIBG per neuroblastoma
 - scegliendo come vettore
 - un anticorpo monoclonale
 - polimero nanostrutturato funzionalizzato



ALLA PROSSIMA PUNTATA...



- Radioterapia a fasci esterni
- Radioterapia convenzionale
- Terapia con protoni/ioni (adroterapia)
- ...



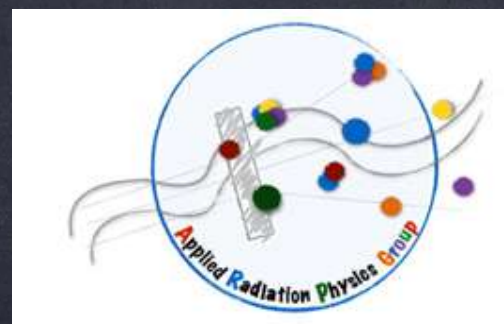
GRAZIE!

Elena Solfaroli Camillocci

elena.solfaroli@roma1.infn.it



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

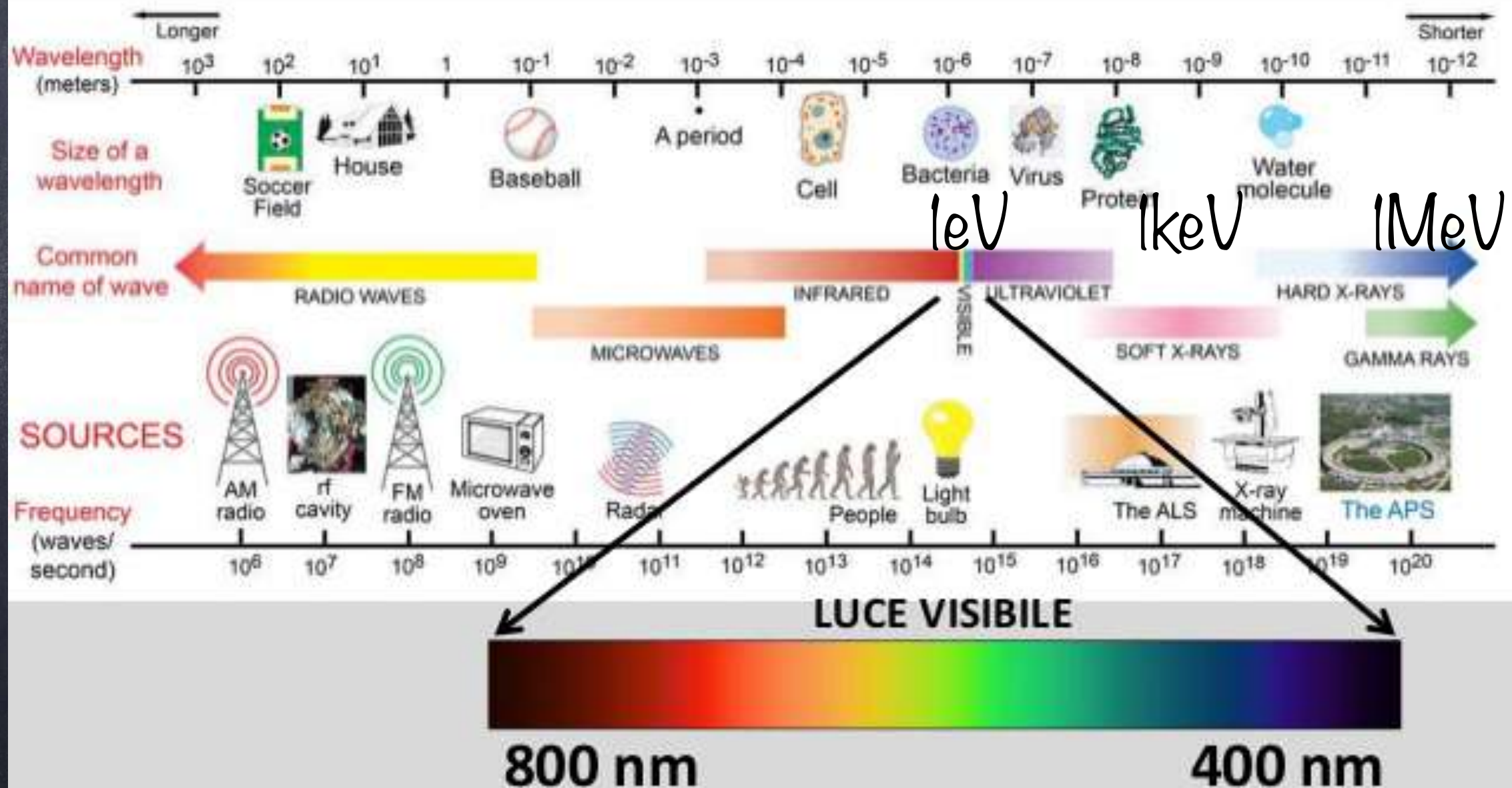


BACK-UP

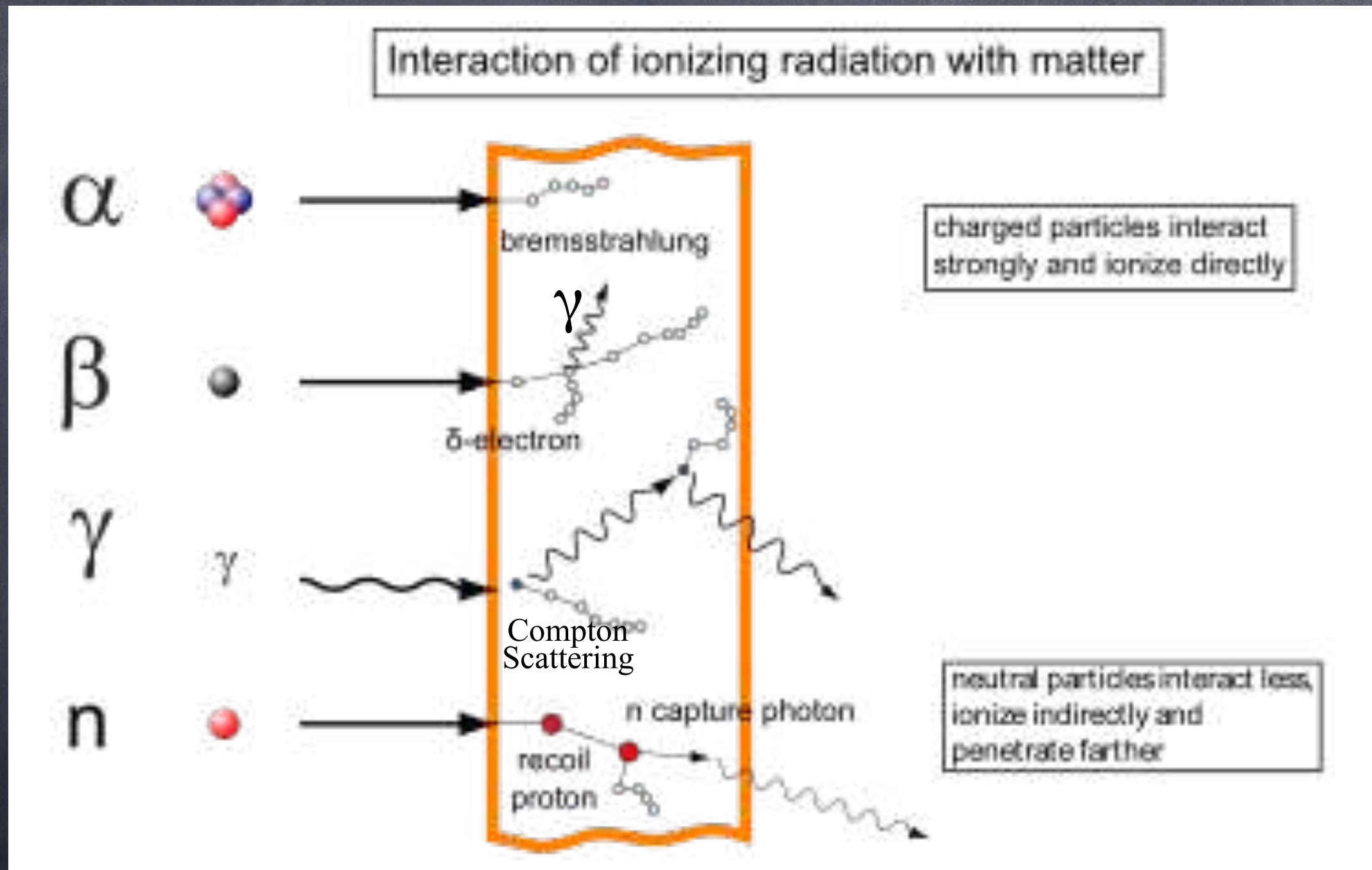
SPETTRO ELETTROMAGNETICO

Lo spettro elettromagnetico

L'insieme di tutte le possibili lunghezze d'onda delle radiazioni elettromagnetiche

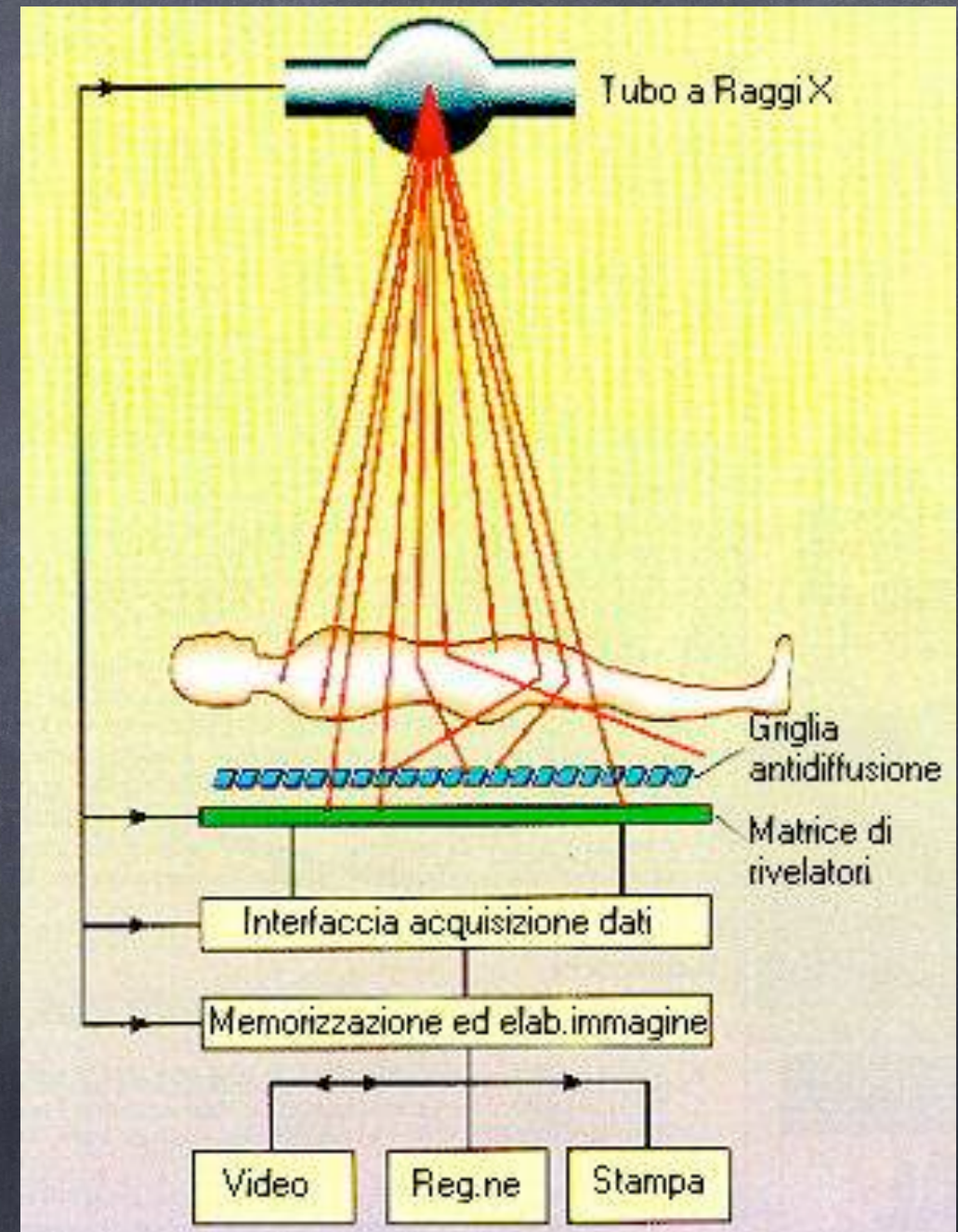


INTERAZIONE CON LA MATERIA



RADIOGRAFIA A RAGGI X

- X-rays produced with a cathodic tube by Bremsstrahlung
- Interaction between matter and patient
- X-ray detection

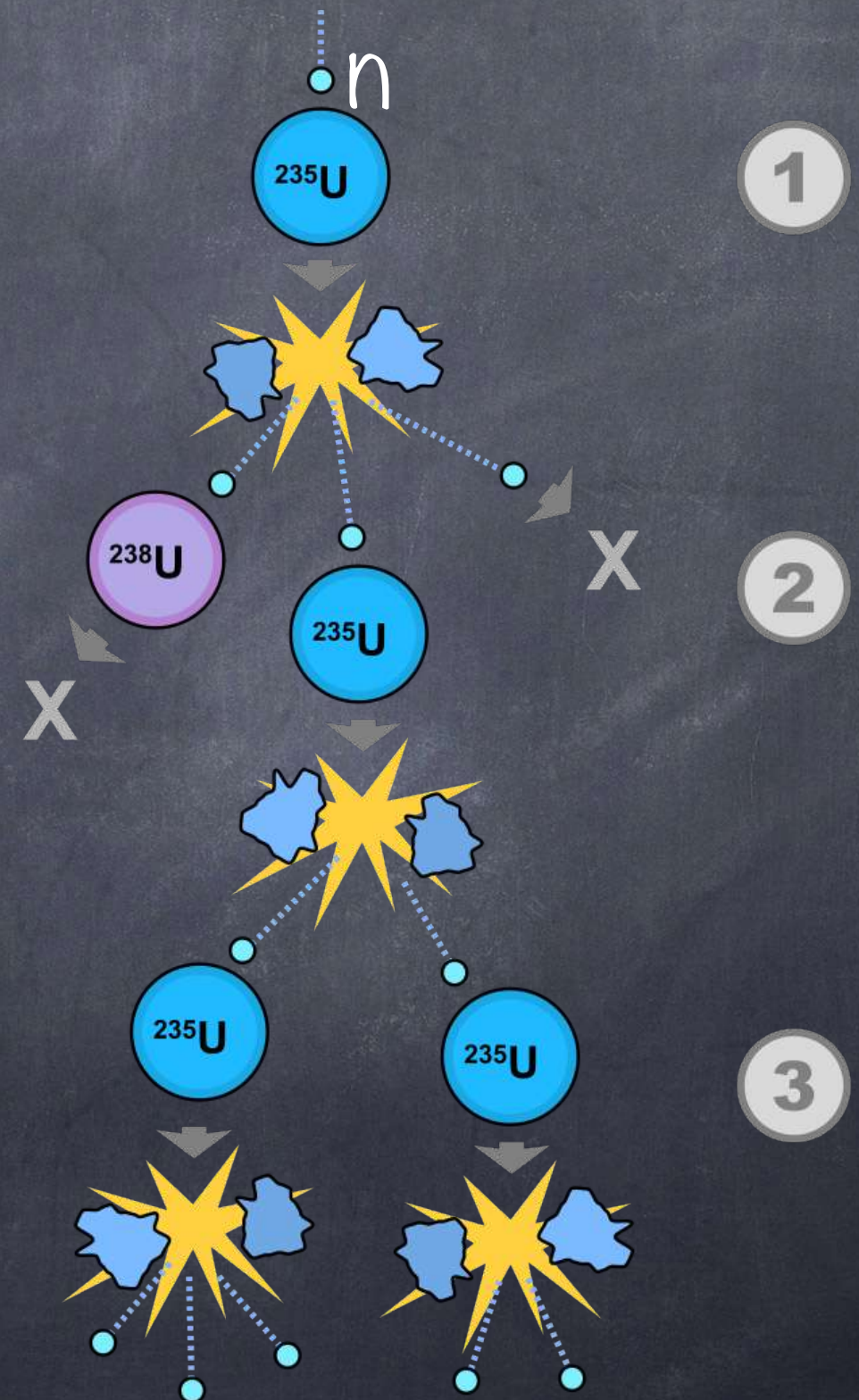


RADIONUCLIDI

- NUCLIDE: specie nucleare caratterizzata da
 - numero atomico Z (#protoni), definisce la specie
 - numero di massa A (#neutroni + #protoni)
 - stato energetico
- ISOTOPO: nuclide di un certo elemento ma con uguale Z ma differente $A \Rightarrow$ diverso #neutroni
- RADIONUCLIDE o RADIOISOTOPO è un nuclide instabile che decade emettendo energia sotto forma di radiazioni

FISSIONE NUCLEARE

- FISSIONE: il nucleo di un elemento “pesante” (elevato numero di massa A) decade in “frammenti” e una grande quantità di energia e radioattività.
- frammenti nucleari: nuclei di atomi a numero atomico inferiore
- Fissione spontanea o tramite bombardamento di neutroni.



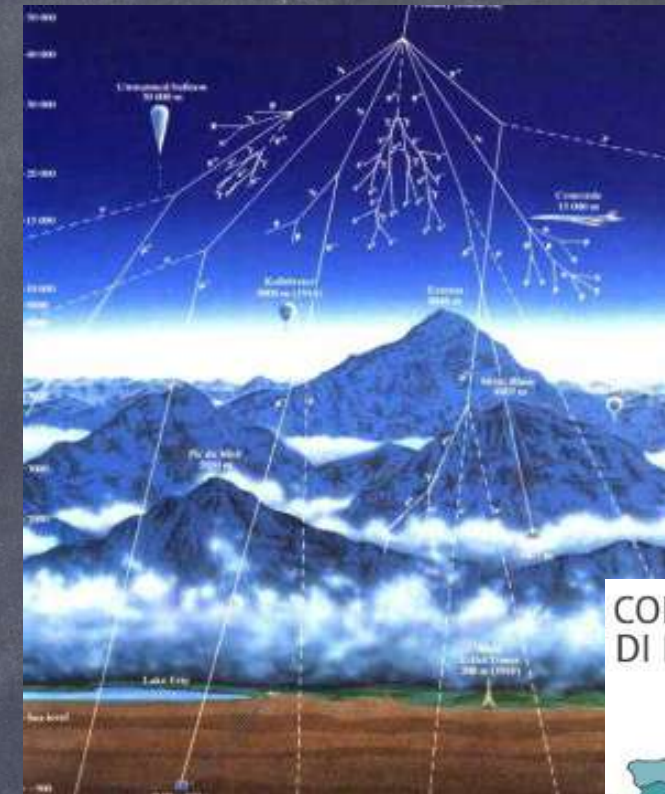
SORGENTI DI RADIAZIONI

Naturali

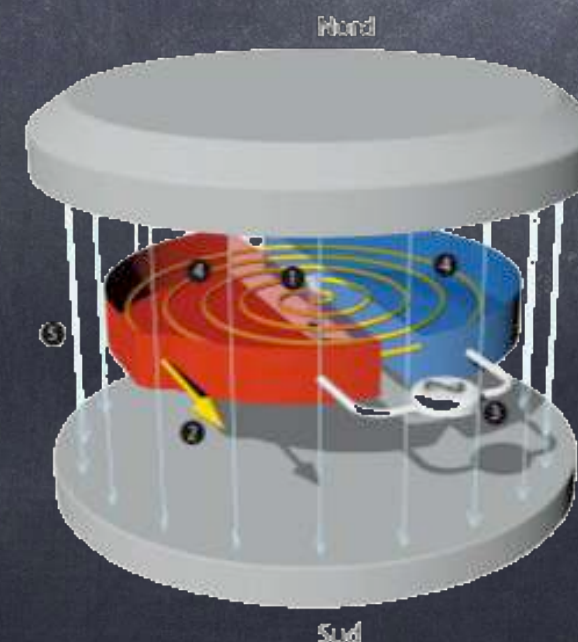
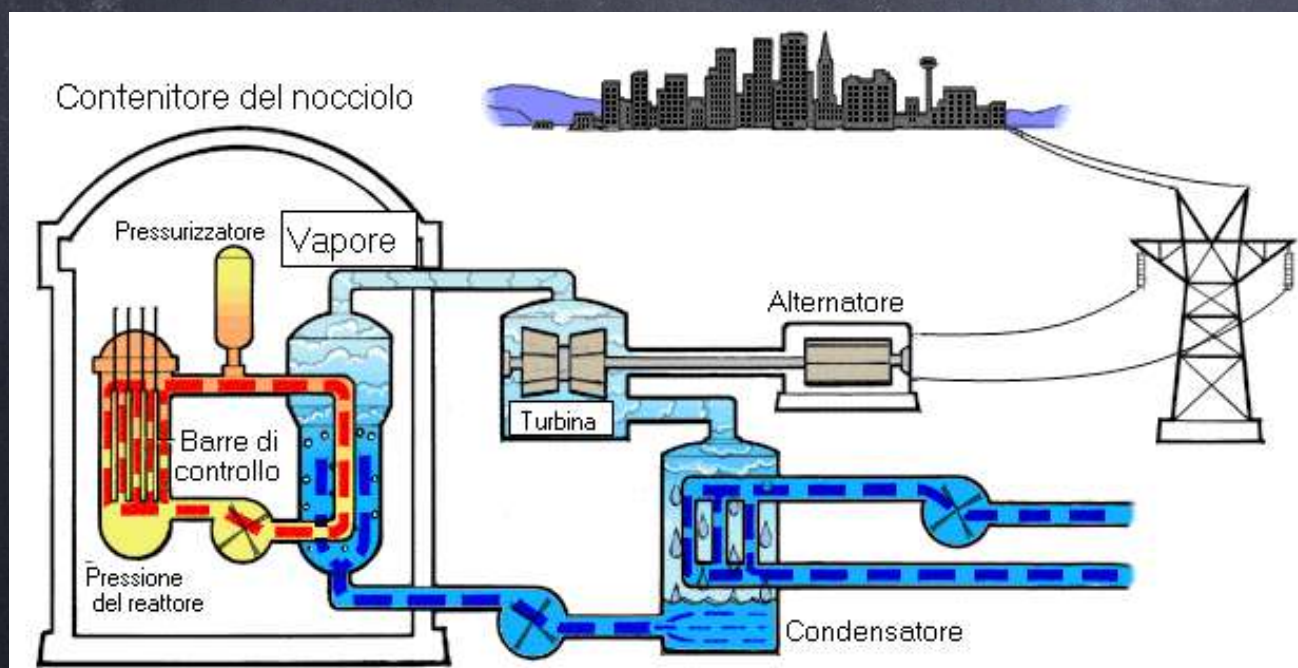
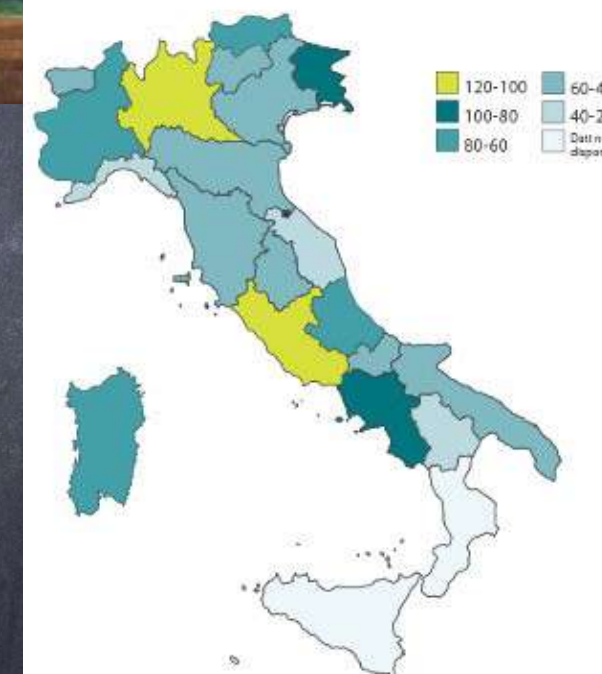
- raggi cosmici
- nuclidi primordiali o cosmogenici in decadimento radioattivo
 - Potassio, Uranio, Torio
 - Gas Radon dal sottosuolo

Artificiali

- Scopi medici, industriali, energetici, militari
 - ciclotroni e acceleratori lineari
 - reattori nucleari



CONCENTRAZIONE DI RADON (Bq/m^3)



ESPOSIZIONE AMBIENTALE

Tipi di esposizioni a radiazione		
Esposizione pubblica		
Fonti naturali	Normali occorrenze	Radiazioni cosmiche
		Fondo di radioattività naturale
	Fonti avanzate	Industria mineraria
		Industria dei fosfati
		Miniere di carbone e produzione di energia dal carbone
		Perforazione di petrolio e gas
		Industrie delle terre rare e del diossido di titanio
		Industrie dello zirconio e delle ceramiche
		Applicazioni del radio e del torio
		Altre situazioni di esposizione
Fonti artificiali	Scopi pacifici	Produzione di energia nucleare
		Trasporto di materiali radioattivi e nucleari
		Altre applicazioni oltre all'energia nucleare
	Scopi militari	Test nucleari
		Residui nell'ambiente. Fallout nucleare
Source UNSCEAR 2008 Annex B retrieved 2011-7-4		

} In Italia 3.3 mSv/anno

RADIOATTIVITA' NATURALE
nuclidi primordiali o cosmogenici
in decadimento radioattivo

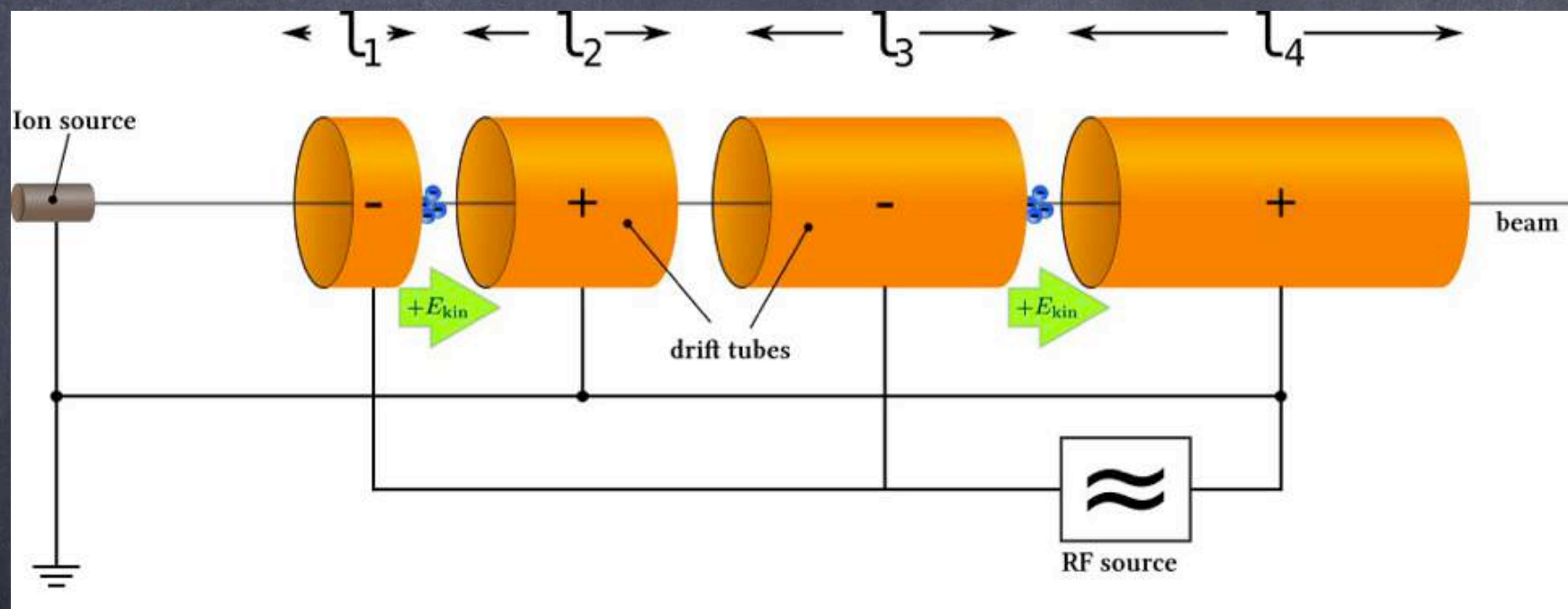
L'esposizione artificiale media è molto più elevata nei paesi sviluppati, soprattutto a causa di scansioni CT e medicina nucleare.

RADIONUCLIDI PER MEDICINA NUCLEARE

Isotope	Half-life	Radiation	Energy (keV)	Production
^{11}C	20.3 min	β^+ (100%)	385.7	Cyclotron
^{18}F	110 min	β^+ (97%)	250	Cyclotron
^{64}Cu		β^+		
^{68}Ga	67.6 min	β^+ (89%)	836	Generator
		γ	1077,34	
^{124}I	100.3 h	β^+ (%)	370	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 h	γ	141	Generator
^{201}Tl	73 h	γ	167, 71	
^{111}In	67.9 h	γ	245, 172	Generator
^{90}Y	64.8 h	β^-	933.5	Generator
^{131}I	8 d	β^-	181	Fission
		γ	360	
^{177}Lu	6.7 d	β^-	149, 112, 48	Reactor
		γ	321, 208, 113	

LINAC

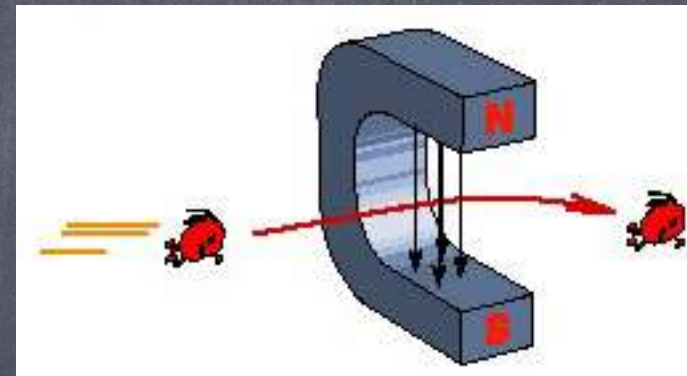
- Acceleratore lineare
- In medicina per elettroni fino a qualche MeV



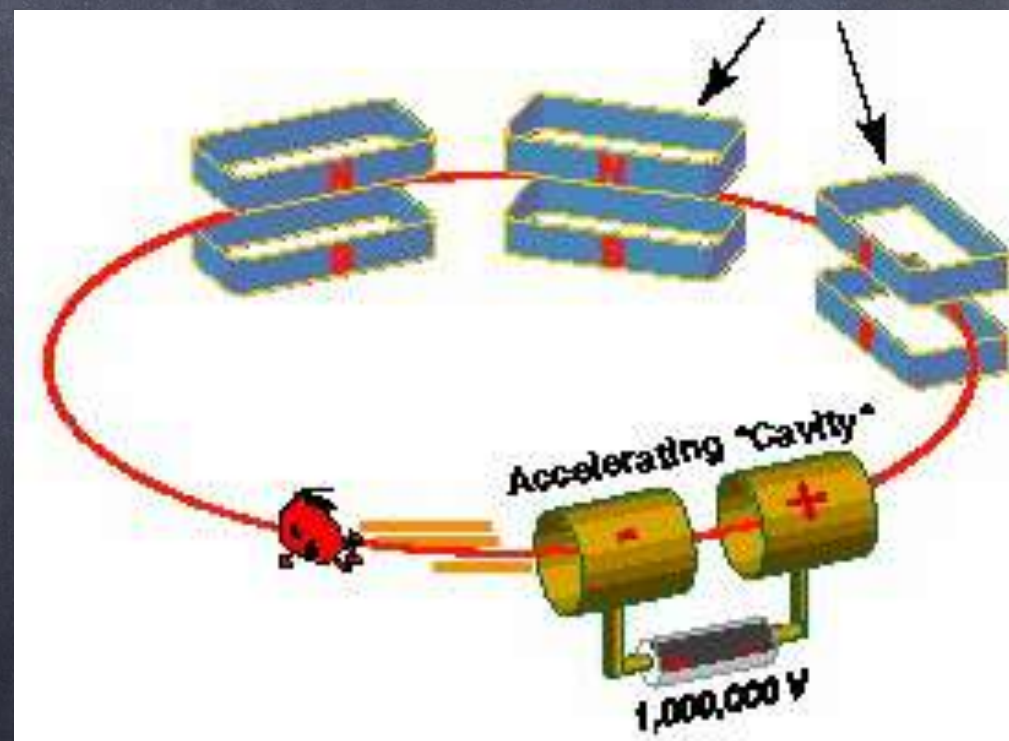
ACCELERATORE CIRCOLARE



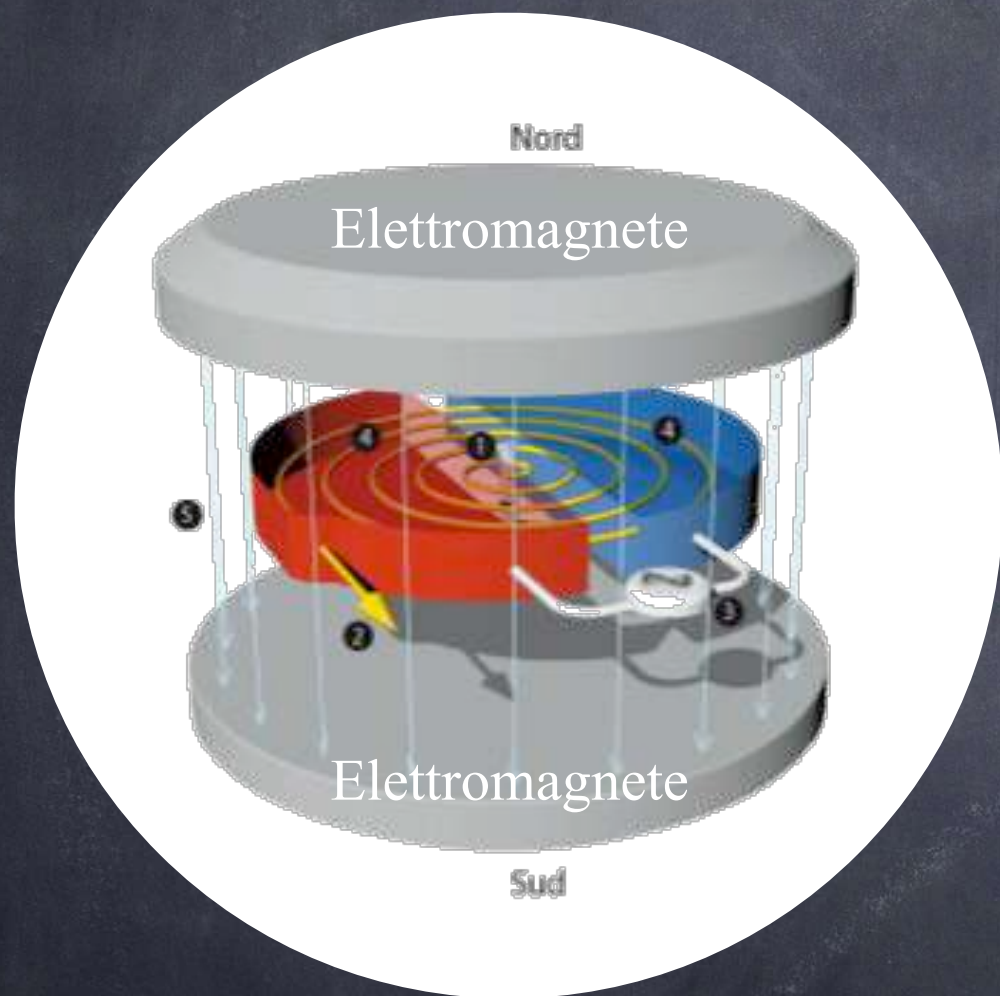
Acceleration: electric field



Bending: magnetic field

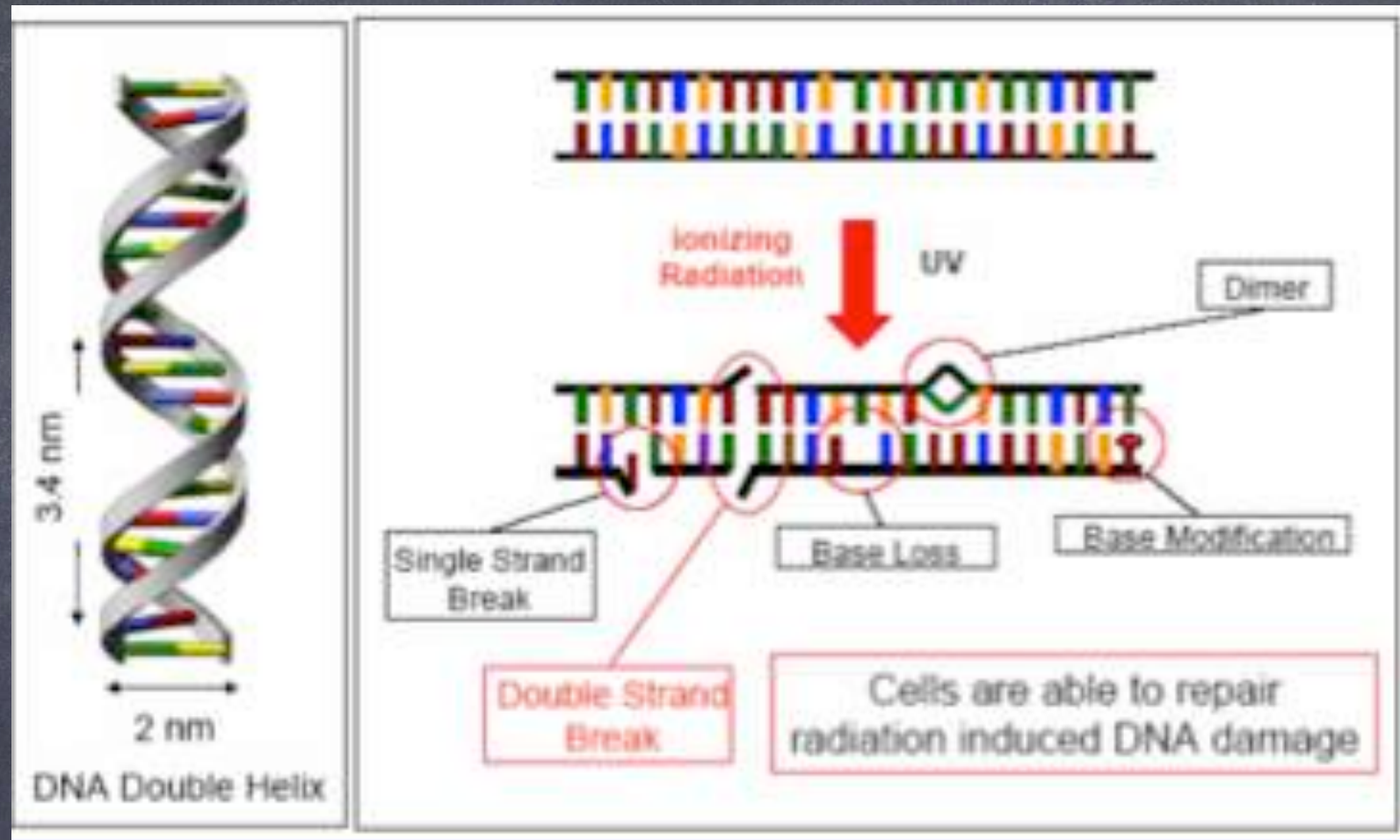


CICLOTRONE



- Accelera protoni/ioni
- La particella accelerata e' indirizzata sul bersaglio
- 10-30 MeV per produzione di radioisotopi
- Fino a 200 MeV per radioterapia

DANNI RADIOBIOLOGICI



- L'elica del DNA e' lunga (metri) e stretta (micron), ed e' impacchettata nei 5-10 μm del nucleo della cellula
- Il DNA auto-ripara in tempi di minuti-ore i danni delle radiazioni (se il danno non e' troppo complesso!)