

COME CI CURIAMO OGGI: VERSO UNA MEDICINA PERSONALIZZATA

- ▶ **Dott.ssa Petra Martini**, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Prevenzione
- ▶ **Prof.ssa Alessandra Boschi**, Dipartimento di Scienze Chimiche, Farmaceutiche e Ambientali
- ▶ **Prof.ssa Licia Uccelli**, Dipartimento di Medicina Traslazionale e per la Romagna

ATOMI E MOLECOLE RADIOATTIVE PER LA SALUTE



► Definizione di atomo

L'atomo (dal greco *ἄτομος átomos*: indivisibile) è la struttura nella quale la materia è organizzata in unità fondamentali che costituiscono gli **elementi chimici**.

► Struttura dell'atomo:

Protoni, neutroni ed elettroni

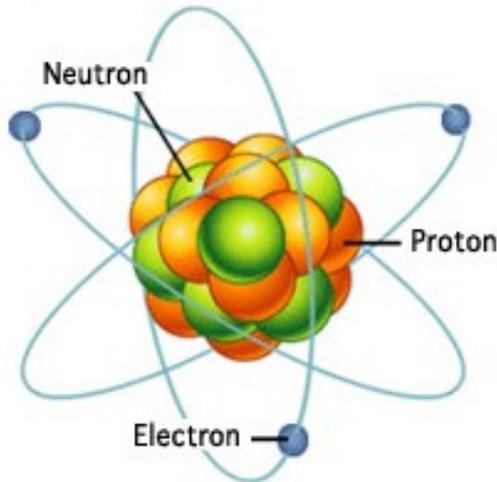


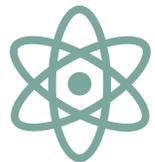
Tavola Periodica degli Elementi

Gruppo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	H 1.008 1.00794	He 4.0026 4.002602																	
2	Li 6.94 6.941	Be 9.0122 9.012182	B 10.81 10.811	C 12.011 12.0107	N 14.007 14.003094	O 15.999 15.99908	F 18.998 18.998403	Ne 20.180 20.1797											
3	Na 22.990 22.989769	Mg 24.305 24.304094	Al 26.982 26.981538	Si 28.086 28.085529	P 30.974 30.973762	S 32.06 32.059	Cl 35.45 35.453	Ar 39.948 39.948163											
4	K 39.098 39.09831	Ca 40.078 40.0783	Sc 44.956 44.955912	Ti 47.867 47.8671	V 50.942 50.9415	Cr 51.996 51.9961	Mn 54.938 54.938045	Fe 55.845 55.845	Co 58.933 58.933195	Ni 58.693 58.6934	Cu 63.546 63.546	Zn 65.38 65.38	Ga 69.723 69.7231	Ge 72.630 72.6305	As 74.922 74.9216	Se 78.971 78.9718	Br 79.904 79.904	Kr 83.798 83.798175	
5	Rb 85.468 85.4678	Sr 87.62 87.62	Y 88.906 88.9062	Zr 91.224 91.224	Nb 92.906 92.9063	Mo 95.95 95.94	Tc (98) 98	Ru 101.07 101.07	Rh 102.91 102.9055	Pd 106.42 106.42	Ag 107.87 107.8682	Cd 112.41 112.411	In 114.82 114.818	Sn 118.71 118.710	Sb 121.76 121.757	Te 127.60 127.603	I 126.905 126.90547	Xe 131.29 131.294	
6	Cs 132.91 132.90545	Ba 137.33 137.327	Lu 174.967 174.967	Hf 178.49 178.49	Ta 180.95 180.948	W 183.84 183.84	Re 186.21 186.207	Os 190.23 190.23	Ir 192.22 192.222	Pt 195.08 195.084	Au 196.97 196.96655	Hg 200.59 200.59	Tl 204.38 204.377	Pb 207.2 207.2	Bi 208.98 208.9804	Po (209) 209	At (210) 210	Rn (222) 222	
7	Fr (223) 223	Ra (226) 226	Lr (262) 262	Rf (261) 261	Db (262) 262	Sg (266) 266	Bh (264) 264	Hs (277) 277	Mt (268) 268	Ds (271) 271	Rg (272) 272	Cn (285) 285	Nh (284) 284	Fl (289) 289	Mc (288) 288	Lv (292) 292	Ts (294) 294	Og (118) 118	
<p>Blocchi di configurazione elettronica</p> <p> ■ s ■ d ■ p ■ f </p> <p>Note</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 kJmol⁻¹ = 0.010364 eV * tutti gli elementi sono impliciti a avere l'ossidazione di zero 																			
<p> ■ metalli alcalini ■ metalli alcalino terrosi ■ lantanoidi ■ metalli di transizione ■ proprietà sconosciute ■ metalli di post-transizione ■ metalloidi ■ non metalli reattivi ■ gas nobili </p>																			

COS'È UN ATOMO?



► Definizione di isotopo

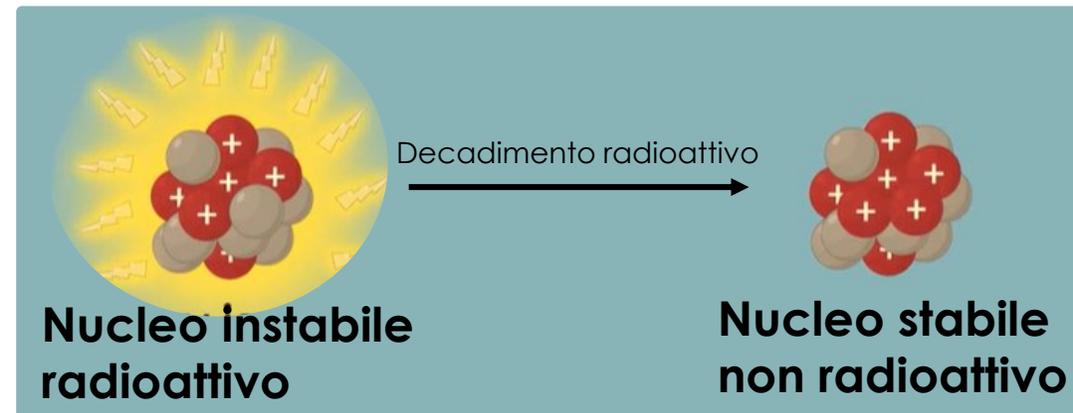
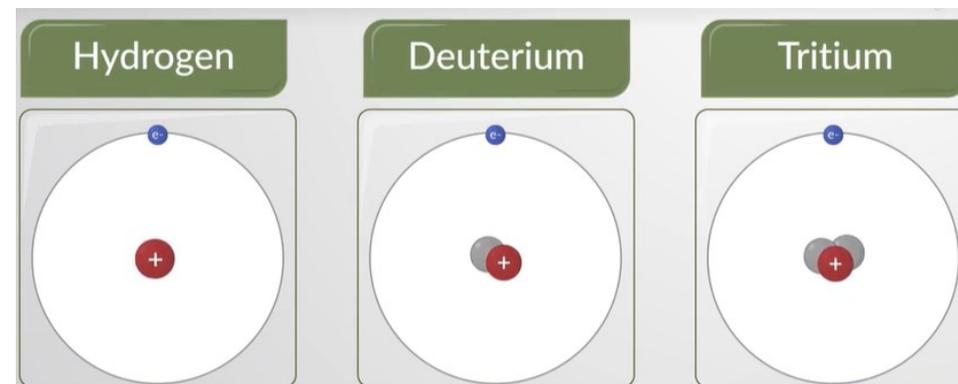


Un isotopo è un atomo, di un qualunque elemento chimico, che mantiene lo stesso numero di protoni ma **diversa numero di neutroni**.

► Isotopi radioattivi

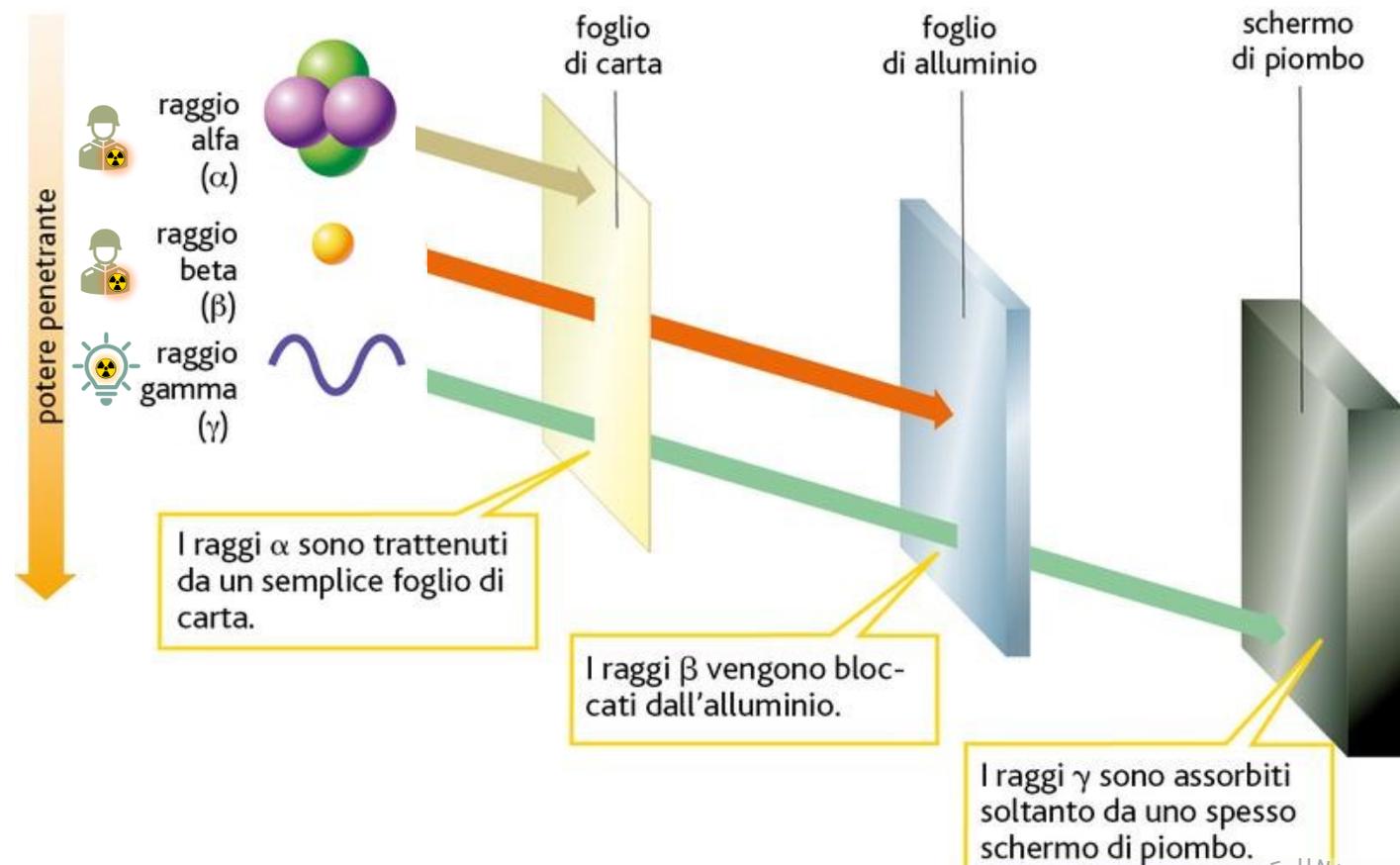
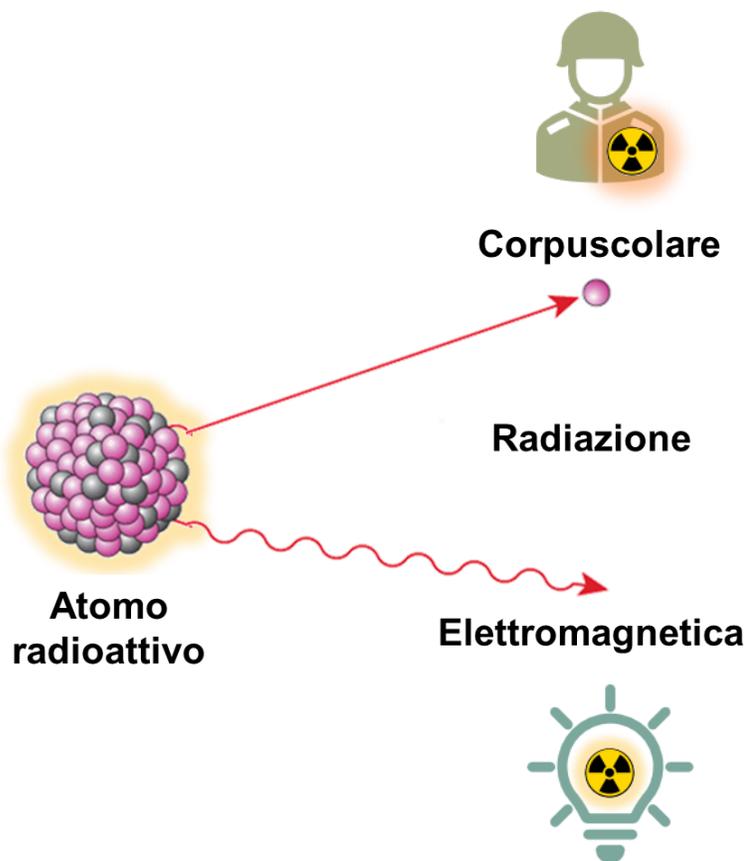


Un radioisotopo (radionuclide) è un **nuclide instabile** che decade in un altro nuclide più stabile emettendo energia sotto forma di particelle subatomiche dotate di notevole energia cinetica e/o radiazioni elettromagnetiche ad alta energia, le **radiazioni ionizzanti**



COS'È UN ISOTOPO RADIOATTIVO?

► Tipi di radiazioni: Alfa, beta e gamma



RADIAZIONI

► Medicina Nucleare

La medicina nucleare è quella branca della medicina che utilizza sostanze radioattive (**radiofarmaci**) a scopo **diagnostico, terapeutico** e di ricerca biomedica.



COS'È UN RADIOFARMACO?

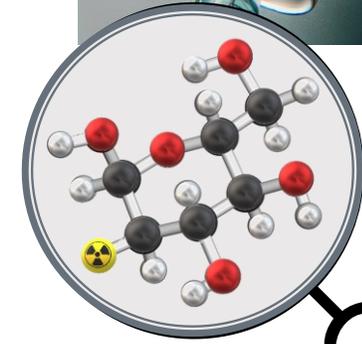
► Medicina Nucleare

La medicina nucleare è quella branca della medicina che utilizza sostanze radioattive (**radiofarmaci**) a scopo **diagnostico, terapeutico** e di ricerca biomedica.

► Definizione e composizione di un **radiofarmaco**

Un radiofarmaco è un **medicinale** in uso in medicina nucleare che include uno o più **isotopi radioattivi** incorporati a scopo sanitario.

Si tratta di sostanze chimiche che hanno la proprietà di interagire specificamente con il sistema biologico.

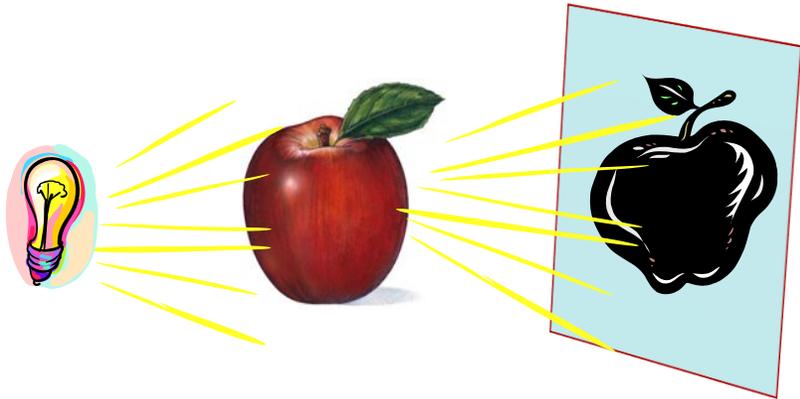


COS'È UN RADIOFARMACO?

► Uso delle radiazioni nella diagnostica per immagini:

radiografie

Informazioni strutturali, morfologiche

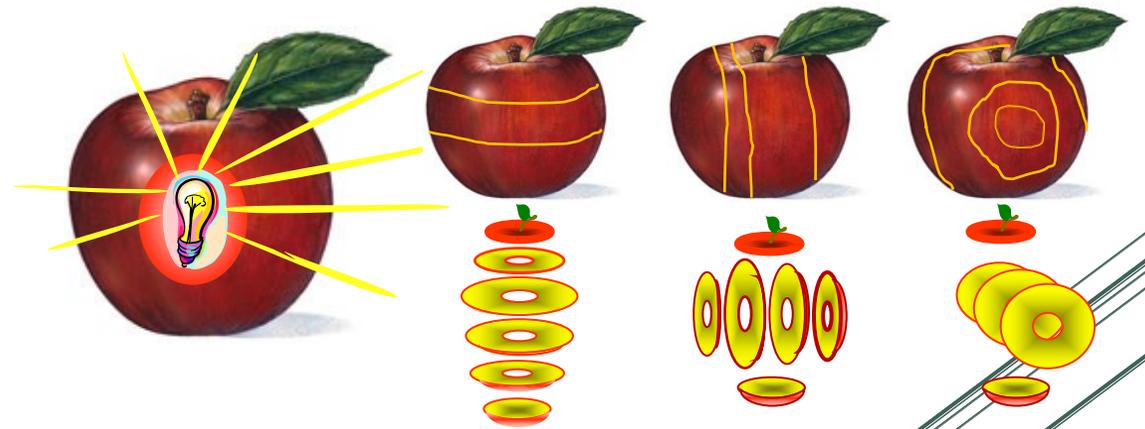


vs



PET o SPECT (scintigrafie)

Informazioni sul funzionamento degli organi



DIAGNOSTICA PER IMMAGINI

► Uso delle radiazioni nella diagnostica per immagini:

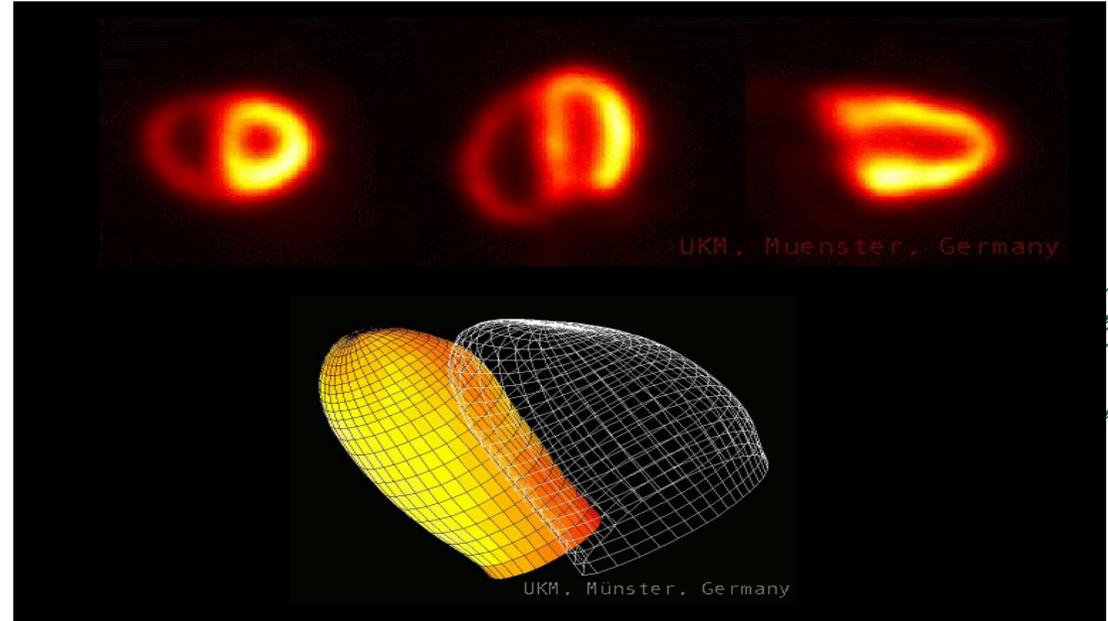
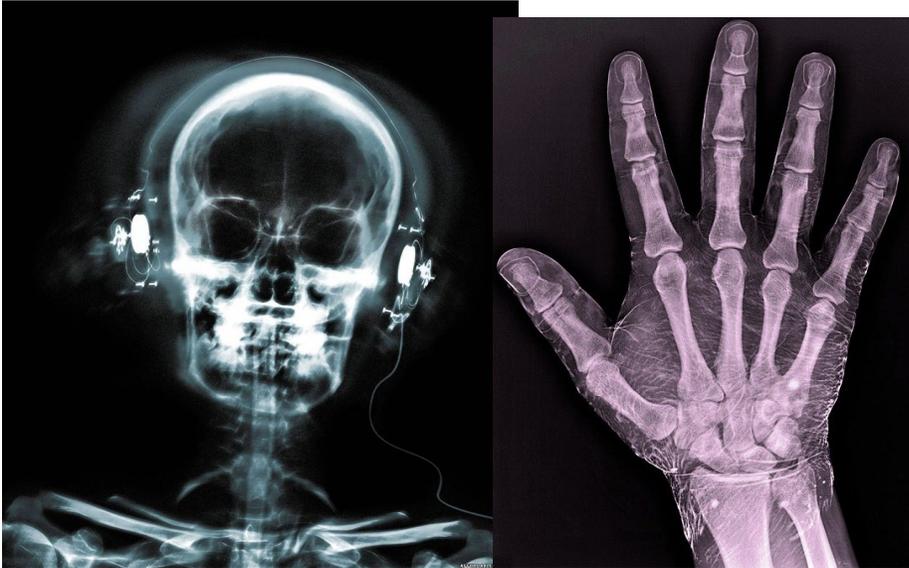
radiografie

vs

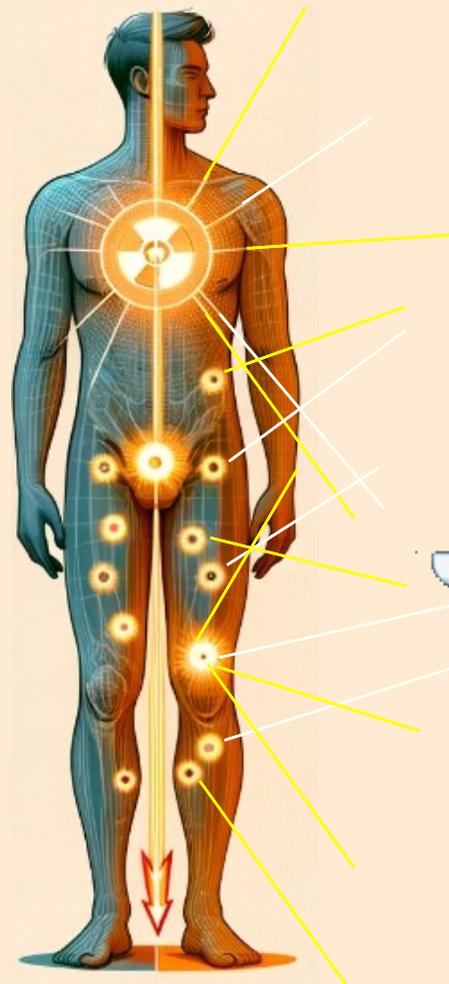
 PET o SPECT (scintigrafie)

Informazioni strutturali, morfologiche

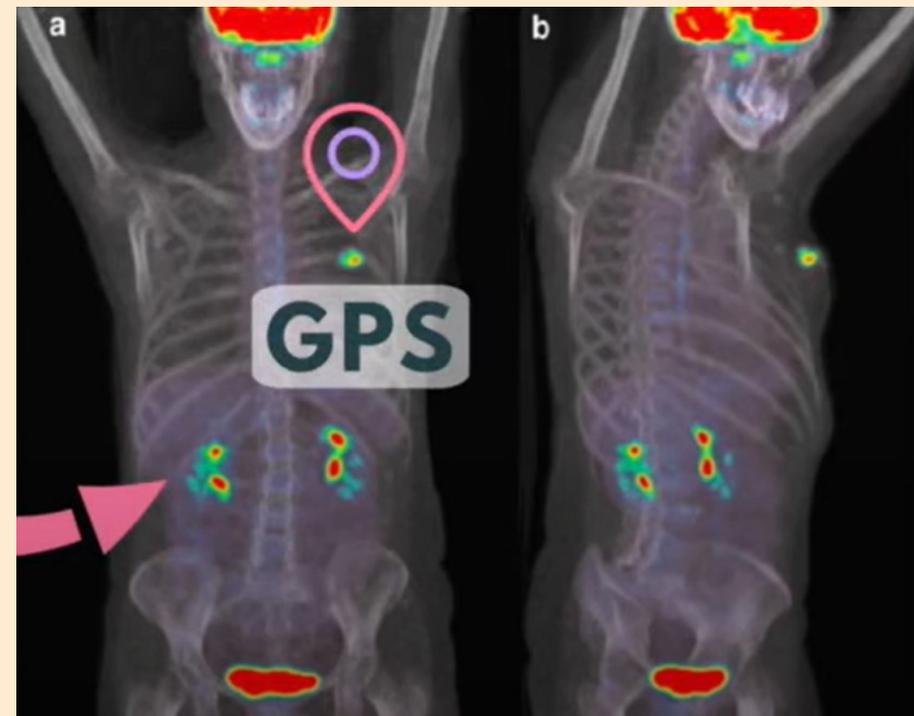
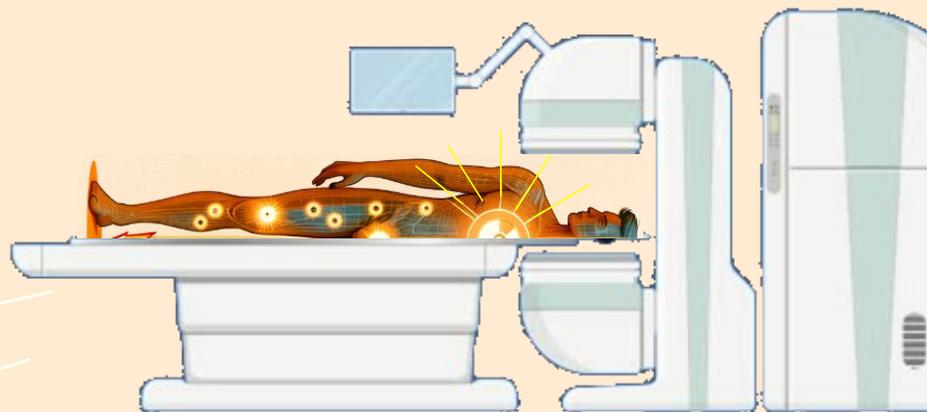
Informazioni sul funzionamento degli organi



DIAGNOSTICA PER IMMAGINI

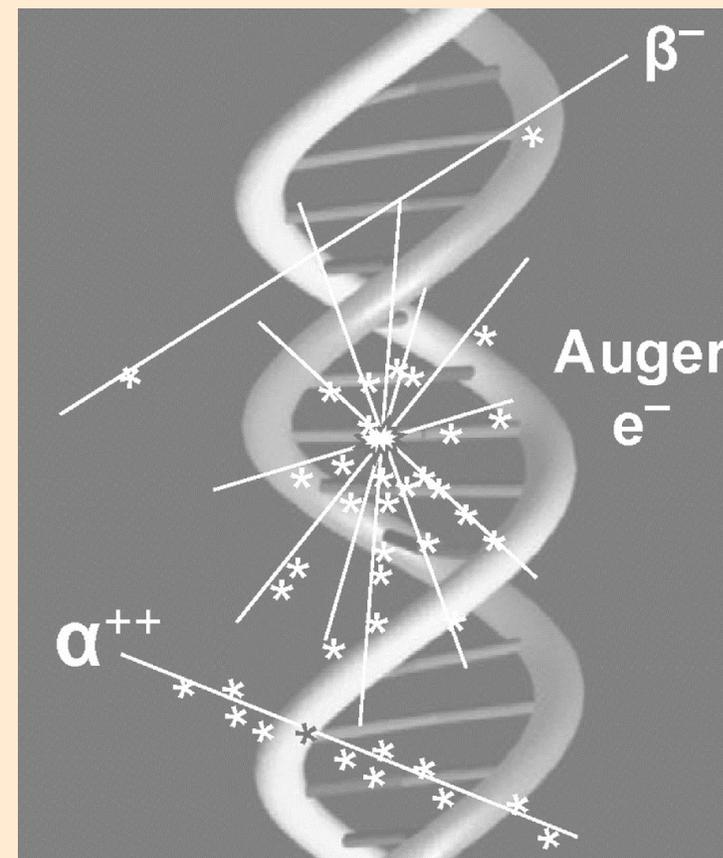
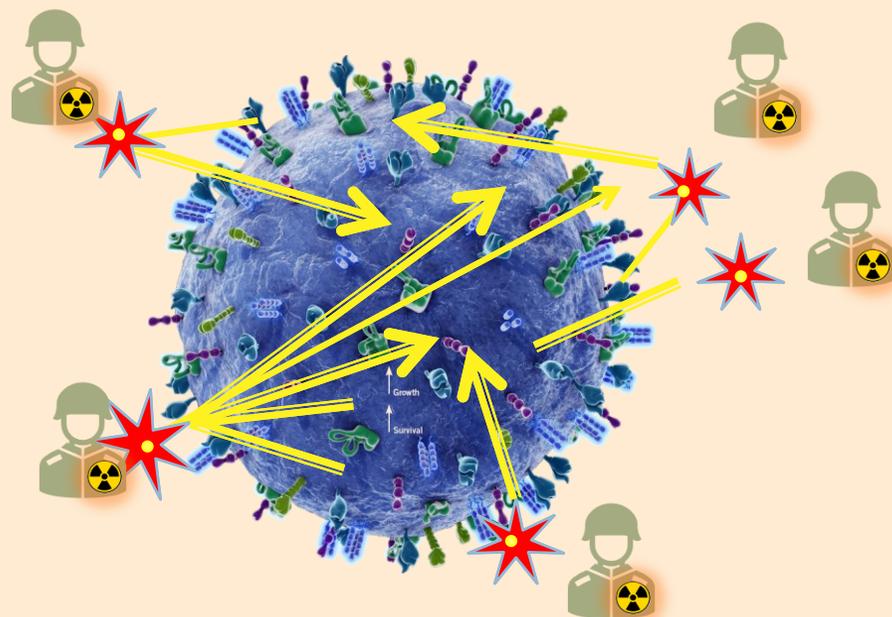
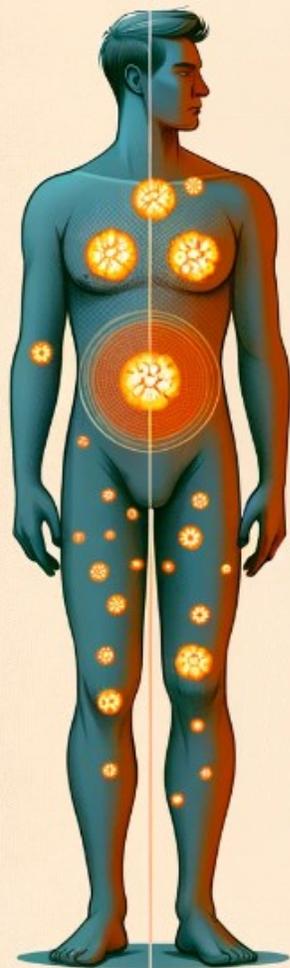


Indagine diagnostica PET o SPECT



 **DIAGNOSTICA MEDICO NUCLEARE**





 TERAPIA MEDICO-NUCLEARE



► Atomi o molecole naturalmente coinvolti in processi metabolici umani

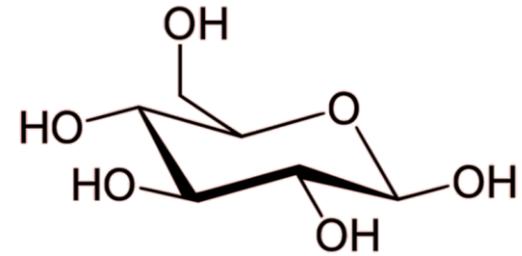
Iodio

123I
13 h
γ

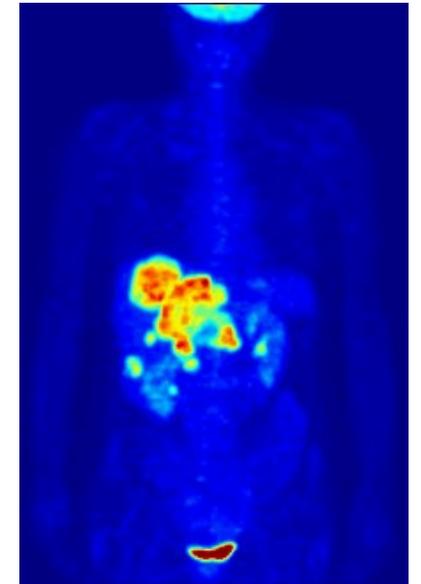
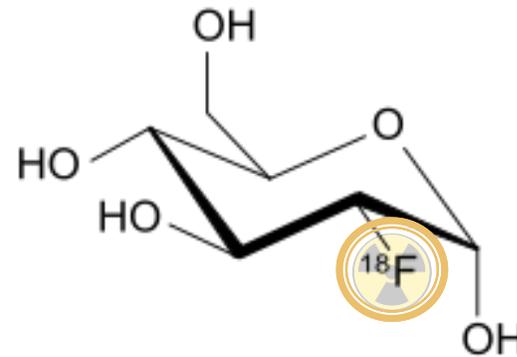
131I
8 g
β-



Glucosio



Fluoro-desossi-glucosio

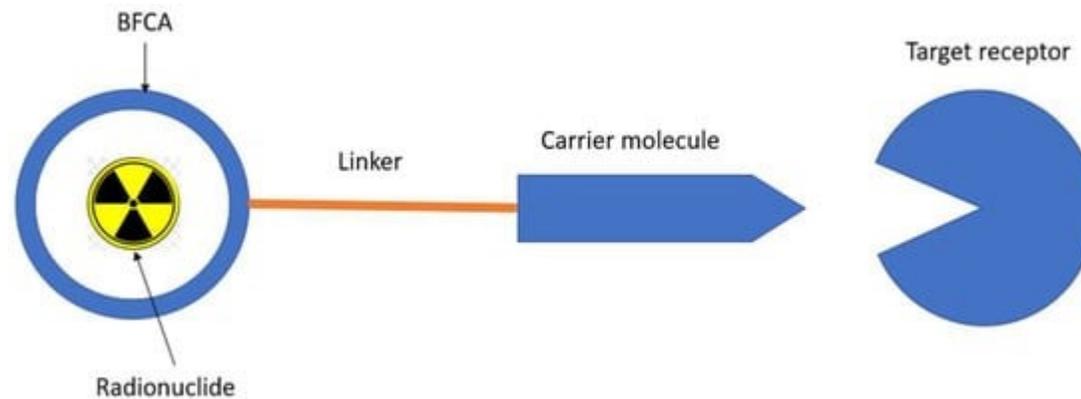


18F
109 min
β+

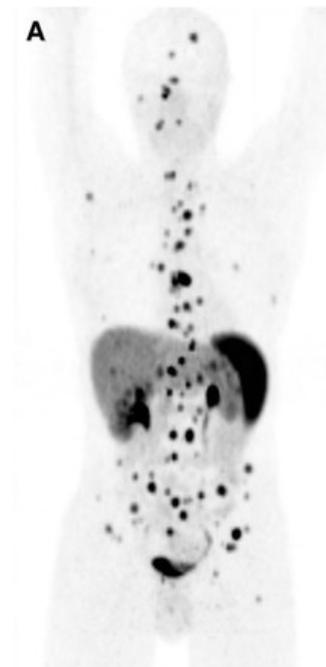
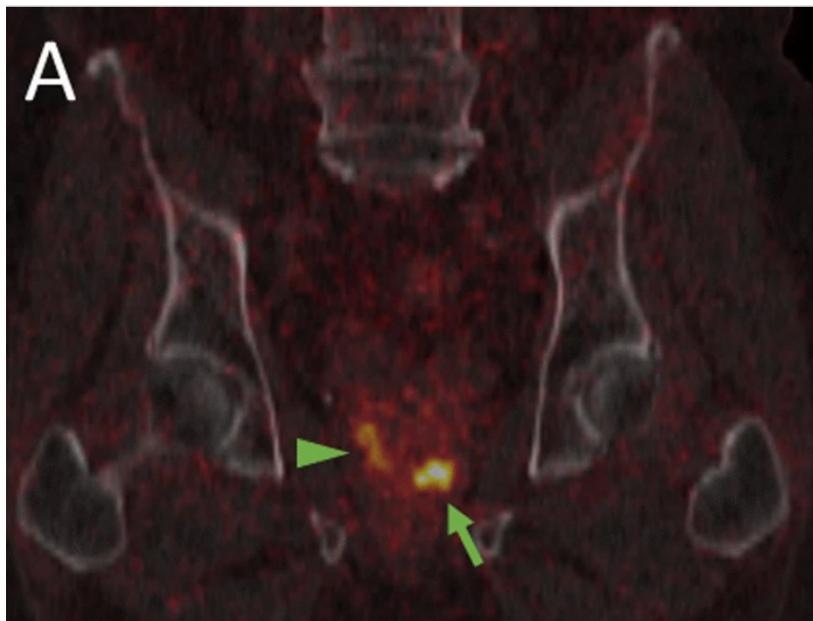


ESEMPI DI RADIOFARMACI IN USO

► Approccio recettoriale



^{68}Ga
68 min
 β^+

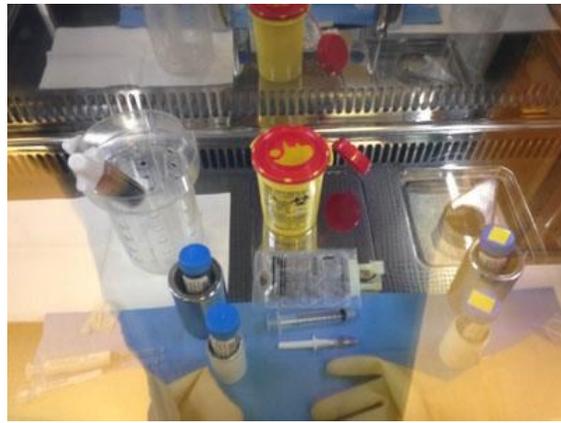
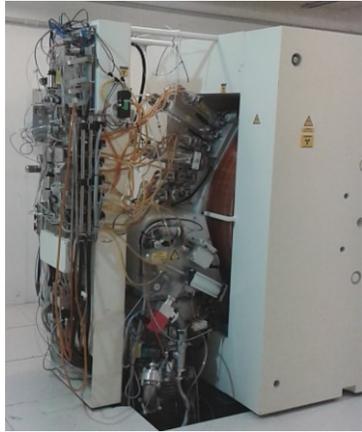


radionuclide (^{68}Ga) + chelator (HBED-CC) + targeting motif (Glu-NH-CO-NH-Lys(Ahx)) radionuclide (^{68}Ga) + chelator (DOTA) + targeting peptide (octreotide)

ESEMPI DI RADIOFARMACI IN USO

► <https://www.youtube.com/watch?v=KXzONBPcPIk>

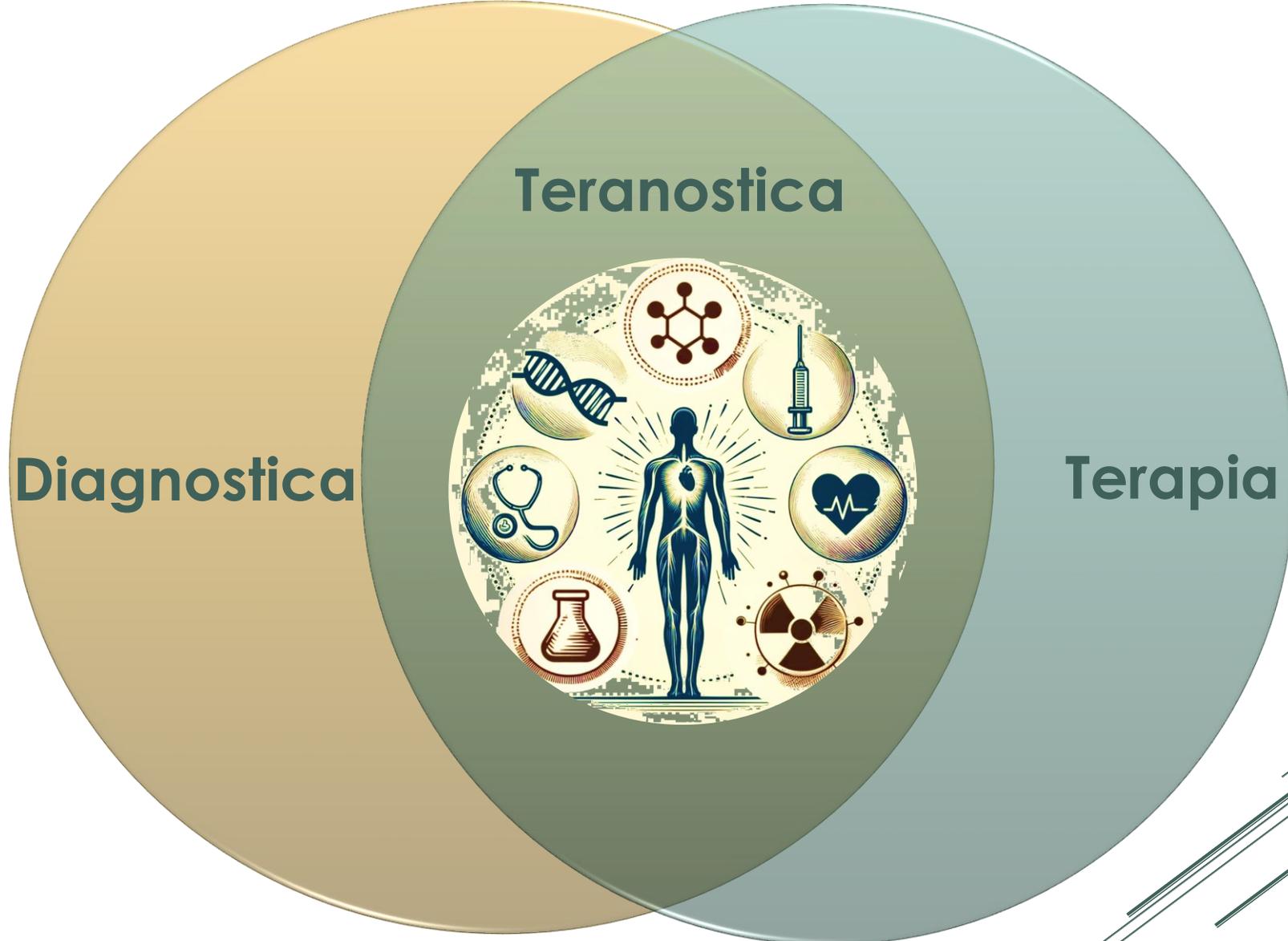




RADIOFARMACIE

► Teranostica:

*uso combinato di
diagnostica e terapia per
una maggior
personalizzazione ed
efficacia delle cure*



IL FUTURO (GIA' PRESENTE) DELLA MEDICINA
NUCLEARE

► Teranostica: tumori neuroendocrini

⁶⁸Ga
67,9 min
β+

 PET con Ga-68 DOTATOC

⁶⁸Ga
67,9 min
β+

 PET con Ga-68 DOTATOC

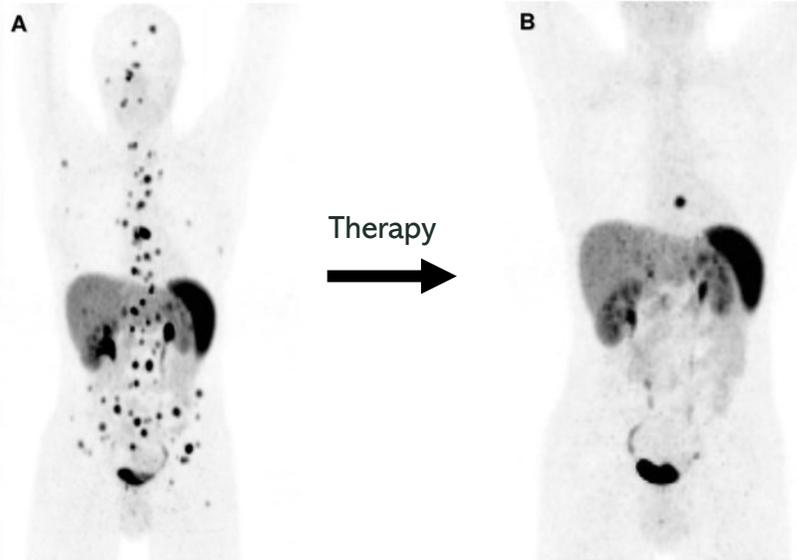
⁹⁰Y
2,7 g
β-

¹⁷⁷Lu
6,6 g
β-

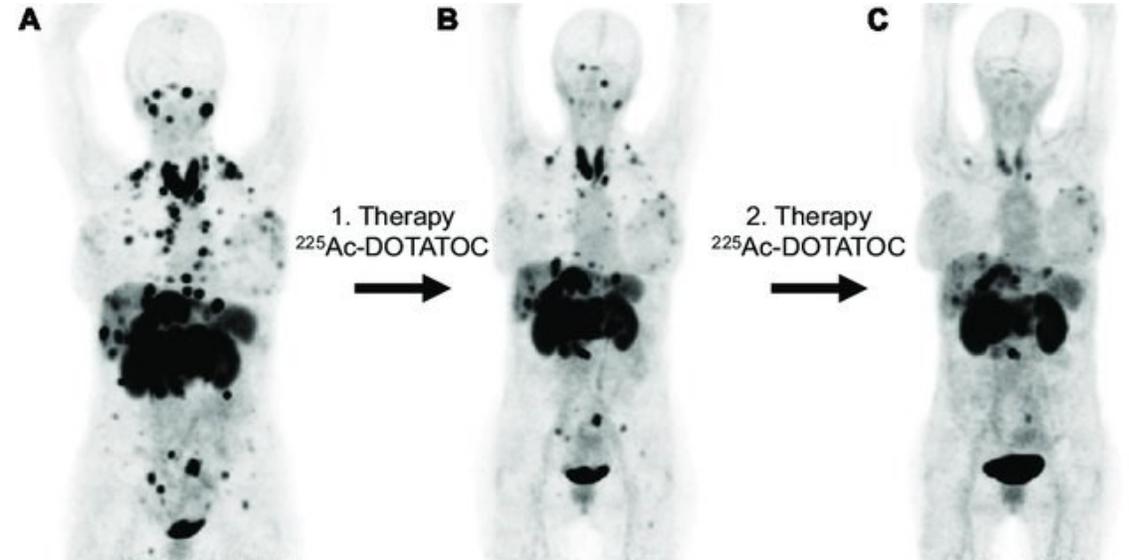
 2 cicli con Y-90 DOTATOC
1 ciclo con Lu-177 DOTATATE

²²⁵Ac
9,9 d
α

 2 cicli con Ac-225 DOTATOC



Prasad, V., et al. Somatostatin receptor PET/CT in restaging of typical and atypical lung carcinoids. *EJNMMI Res* 5, 53 (2015). <https://doi.org/10.1186/s13550-015-0130-2>



Alfred Morgenstern, Christos Apostolidis, Clemens Kratochwil, Mike Sathekge, Leszek Krolicki and Frank Bruchertseifer. An Overview of Targeted Alpha Therapy with ²²⁵Actinium and ²¹³Bismuth. *Current Radiopharmaceuticals*, 2018, Vol. 11, No. 3 201.

IL FUTURO (GIA' PRESENTE) DELLA MEDICINA NUCLEARE



Periodic Table of the Elements

 = has been tested clinically
 = of ongoing research interest

1 IA 1A	2 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	18 VIIIA 8A
1 H Hydrogen 1.008																2 He Helium 4.003	
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIb 3B	4 IVb 4B	5 Vb 5B	6 VIb 6B	7 VIIb 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.065	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.63	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.905	46 Pd Palladium 106.36	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.757	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.905	54 Xe Xenon 131.294
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.222	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.384	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon 222.018
87 Fr Francium 223.020	88 Ra Radium 226.025	89-103 Actinide Series	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (268)	109 Mt Meitnerium (276)	110 Ds Darmstadtium (281)	111 Rg Roentgenium (280)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (289)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)

57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.054	71 Lu Lutetium 174.967
89 Ac Actinium 227.033	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244.064	95 Am Americium 243.061	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080	99 Es Einsteinium (254)	100 Fm Fermium 257.105	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.107	103 Lr Lawrencium (262)

149 Tb	152 Tb	155 Tb	161 Tb	165 Er	169 Er
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------



PRIN PNRR 2022
APHRODITE-155
 2024 - 2025

Finanziamento dell'Unione Europea – NextGenerationEU – missione 4, componente 2, investimento 1.1.

