

Introduzione alla Fisica Nucleare

Antonio Cacioli

**Dipartimento di Fisica e Astronomia
Università di Padova
INFN Sezione di Padova**



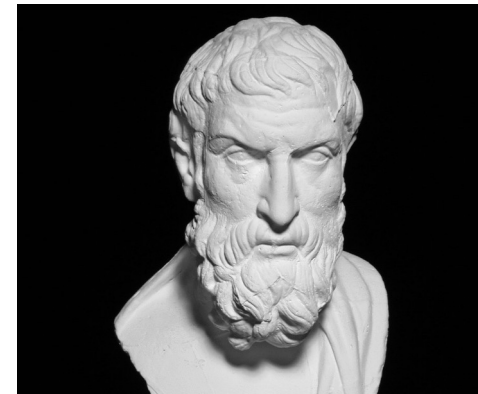
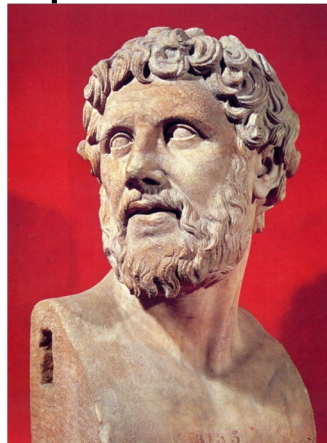
Storia dell'atomo

L' **ATOMO** (dal greco ἄτομος - àtomos = indivisibile)
è la più piccola parte di ogni elemento esistente in natura
che ne conserva le caratteristiche chimiche

Le origini della teoria atomica risalgono al **500 a.C.**



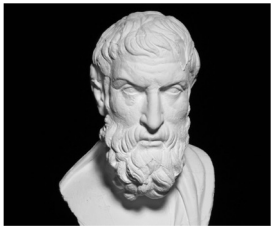
Filosofi greci atomisti (Leucippo, Democrito, Epicuro):
Materia costituita da particelle molto piccole, indivisibili.



Storia dell' atomo

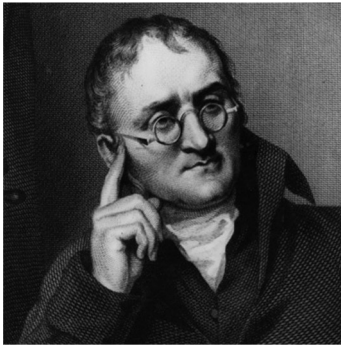
500 a.C.

Filosofi greci

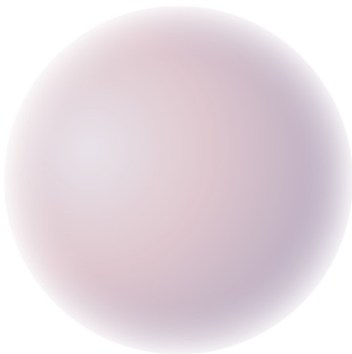


1808

John Dalton



materia composta da atomi, "sfere"

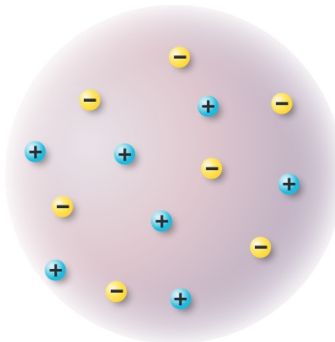


1897

J.J. Thomson

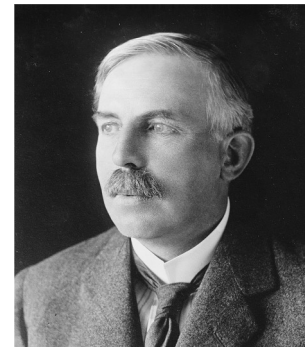


scopri l'elettrone
"modello atomico a panettone"

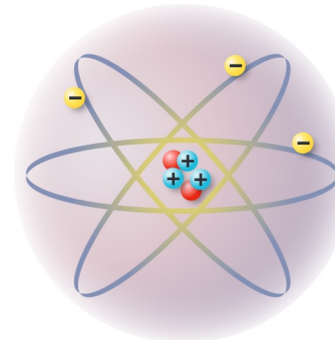


1911

E. Rutherford

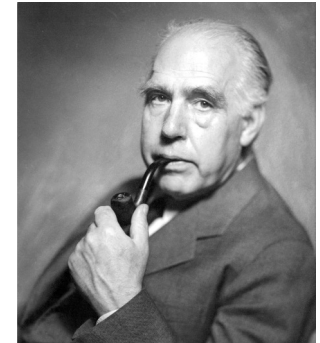


modello atomico
"planetario" con nucleo centrale positivo

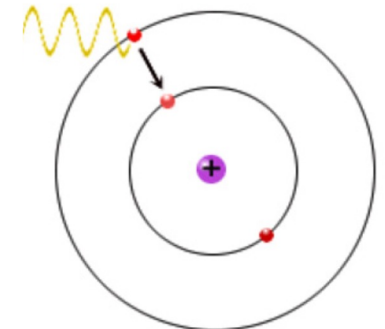


1913

N. Bohr



modello atomico con orbitali elettronici



I costituenti dell' atomo

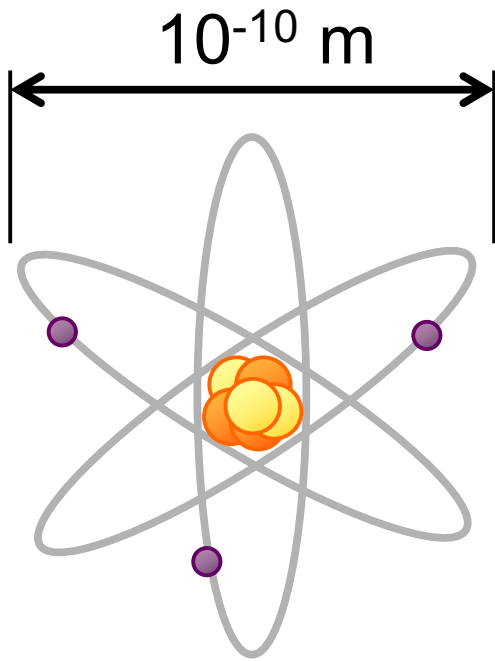
Particella	Simbolo	Carica (C)	Massa (kg)
Elettrone	e^-	$-1,6 \times 10^{-19}$	$9,1 \times 10^{-31}$
Protone	p	$+1,6 \times 10^{-19}$	$1,672 \times 10^{-27}$
Neutrone	n	0	$1,675 \times 10^{-27}$



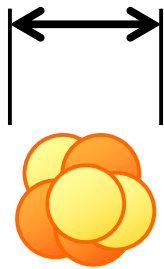
$$9.1 \times 10^{-31} = \frac{9.1}{10.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000}$$

La massa di un protone è circa **1800** volte più grande della massa di un elettrone!

Dimensioni del nucleo



10^{-15} m ~ 1 fm

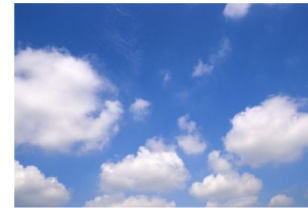


Densità del nucleo

Un po' di paragoni:

Aria

1.29 kg/m³



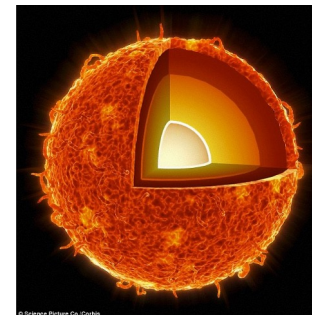
Acqua

1000 kg/m³



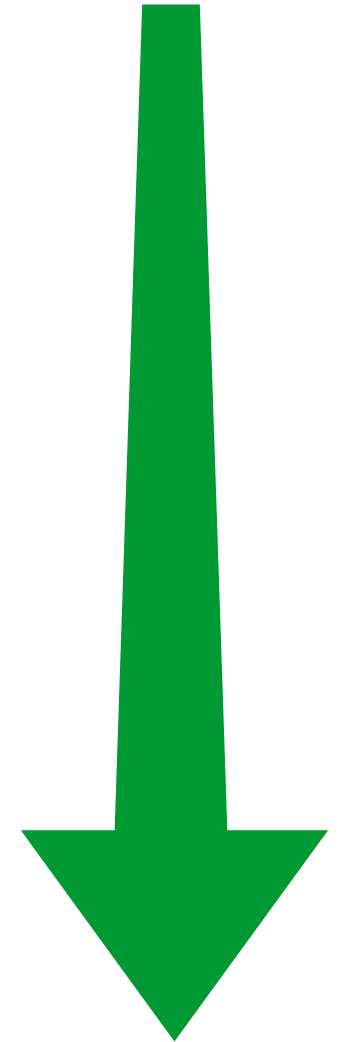
Centro del sole

10⁵ kg/m³



Nucleo

10¹⁷ kg/m³



Massa del nucleo

In prima approssimazione, la massa di un nucleo è uguale alla somma delle masse dei suoi costituenti:

$$M(Z, N) \sim Zm_p + Nm_n$$

Si noterà che **la massa di un atomo è concentrata nel nucleo**, visto che la massa di protoni e neutroni è circa 1800 volte più grande di quella degli elettroni

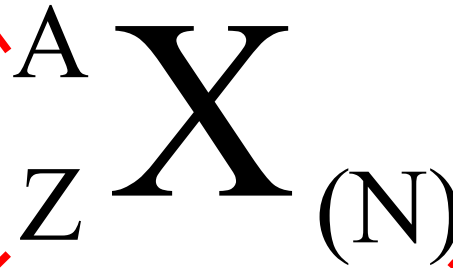
Particella	Massa (kg)
Elettrone	$9,1 \times 10^{-31}$
Protone	$1,6726 \times 10^{-27}$
Neutrone	$1,6749 \times 10^{-27}$

Nucleo	Somma masse protoni e neutroni	Massa reale (kg)
${}^4_2\text{He}$	6.70×10^{-27}	6.65×10^{-27}
${}^{12}_6\text{C}$	2.01×10^{-26}	1.99×10^{-26}
${}^{16}_8\text{O}$	2.68×10^{-26}	2.66×10^{-26}
${}^{56}_{26}\text{Fe}$	9.37×10^{-26}	9.29×10^{-26}



Carta d'identità del nucleo

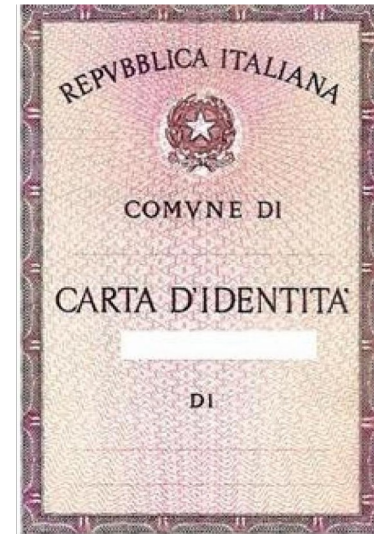
A = Numero di massa:
la somma del numero di
neutroni e protoni nel nucleo



Z = Numero atomico:
il numero dei protoni nel nucleo

N = Numero dei neutroni:
il numero dei neutroni nel nucleo

$$A = Z + N$$



Carta d'identità del nucleo

Ad esempio:



$$A = ?$$

$$Z = ?$$

$$N = A - Z = ?$$

Carta d'identità del nucleo

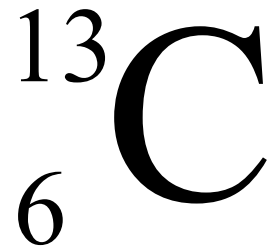
Ad esempio:



$$A = 4$$

$$Z = 2$$

$$N = A - Z = 2$$



$$A = ?$$

$$Z = ?$$

$$N = A - Z = ?$$

Carta d'identità del nucleo

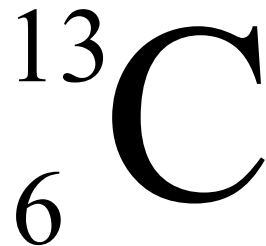
Ad esempio:



$$A = 4$$

$$Z = 2$$

$$N = A - Z = 2$$



$$A = 13$$

$$Z = 6$$

$$N = A - Z = 7$$

Densità del nucleo

Esercizio

*Calcolare la densità di un nucleo di ^{12}C sapendo che
 $m(^{12}\text{C}) = 1,99 \times 10^{-26} \text{ kg}$*

Densità del nucleo

Esercizio

**Calcolare la densità di un nucleo di ^{12}C sapendo che
 $m(^{12}\text{C}) = 1,99 \times 10^{-26} \text{ kg}$**

$$R = r_0 \times \sqrt[3]{A} = 1,2 \text{ fm} \times \sqrt[3]{12} = 2,7 \text{ fm} = 2,7 \times 10^{-15} \text{ m}$$

Densità del nucleo

Esercizio

**Calcolare la densità di un nucleo di ^{12}C sapendo che
 $m(^{12}\text{C}) = 1,99 \times 10^{-26} \text{ kg}$**

$$R = r_0 \times \sqrt[3]{A} = 1,2 \text{ fm} \times \sqrt[3]{12} = 2,7 \text{ fm} = 2,7 \times 10^{-15} \text{ m}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 8,7 \times 10^{-44} \text{ m}^3$$

Densità del nucleo

Esercizio

Calcolare la densità di un nucleo di ^{12}C sapendo che
 $m(^{12}\text{C}) = 1,99 \times 10^{-26} \text{ kg}$

$$R = r_0 \times \sqrt[3]{A} = 1,2 \text{ fm} \times \sqrt[3]{12} = 2,7 \text{ fm} = 2,7 \times 10^{-15} \text{ m}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 8,7 \times 10^{-44} \text{ m}^3$$

$$\text{Densità} = m/V = 2.3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

x 100 000 000 000

$$= 2000 \text{ kg}$$

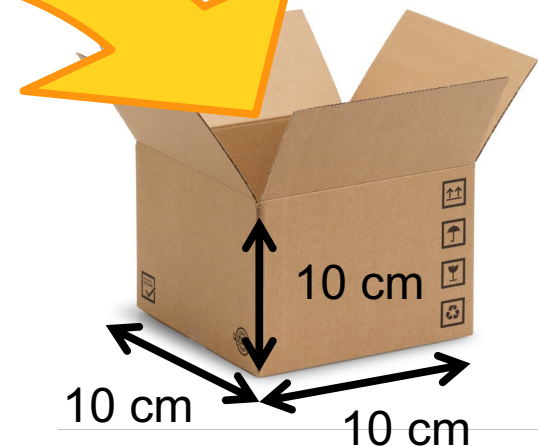


Tavola periodica degli elementi

La tabella di Mendeleev organizza **118** elementi sulla base del loro **numero atomico Z** e del **numero di elettroni** negli orbitali atomici

1 IA 1 H Idrogeno 1.00794	Nuovo Originale																18 VIIIA 2 He Elio 4.002602	
2 Li Litio 6.941	4 Be Berillio 9.012182											5 B Boro 10.811	6 C Carbonio 12.0107	7 N Azoto 14.00674	8 O Ossigeno 15.9994	9 F Fluoro 18.9984032	10 Ne Neon 18.9984032	
3 Na Sodio 22.989770	12 Mg Magnesio 24.3050	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	13 Al Alluminio 26.981538	14 Si Silicio 28.0855	15 P Fosforo 30.973761	16 S Zolfo 32.066	17 Cl Cloro 35.453	18 Ar Argon 39.948	
4 K Potassio 39.0983	20 Ca Calcio 40.078	21 Sc Scandio 44.955910	22 Ti Titanio 47.867	23 V Vanadio 50.9415	24 Cr Cromo 51.9961	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Ferro 55.8457	27 Co Cobalto 58.933200	28 Ni Nichel 58.6934	29 Cu Rame 63.546	30 Zn Zinco 65.409	31 Ga Gallio 69.723	32 Ge Germanio 72.64	33 As Arsenico 74.92160	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Kriptone 83.798	
5 Rb Rubidio 85.4678	38 Sr Stronzio 87.62	39 Y Ittrio 88.90585	40 Zr Zirconio 91.224	41 Nb Niobio 92.90638	42 Mo Molibdeno 95.94	43 Tc Tecnecio (98)	44 Ru Rutenio 101.07	45 Rh Rodio 102.90550	46 Pd Palladio 106.42	47 Ag Argento 107.8682	48 Cd Cadmio 112.411	49 In Indio 114.818	50 Sn Stagno 118.710	51 Sb Antimonio 121.760	52 Te Tellurio 127.60	53 I Iodio 126.90447	54 Xe Xeno 131.293	
6 Cs Cesio 132.90545	56 Ba Bario 137.327	57 to 71		72 Hf Africo 178.49	73 Ta Tantalio 180.9479	74 W Tungsteno 183.84	75 Re Renio 186.207	76 Os Osmio 190.23	77 Ir Iridio 192.217	78 Pt Platino 195.078	79 Au Oro 196.96655	80 Hg Mercurio 200.59	81 Tl Tallio 204.3833	82 Pb Piombo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98038	84 Po Polonio (209)	85 At Astatio (210)	86 Rn Radone (222)
7 Fr Francio (223)	88 Ra Radio (226)	89 to 103		104 Rf Rutherfordio (261)	105 Db Dubnio (262)	106 Sg Seaborgio (266)	107 Bh Bohrio (264)	108 Hs Hassio (269)	109 Mt Meitnerio (268)	110 Ds Darmstadtio (271)	111 Rg Roentgenio (272)	112 Uub Ununbio (285)	113 Uut Ununtrio (284)	114 Uuq Ununquadio (289)	115 Uup Ununpentio (288)	116 Uuh Ununhexio (292)	117 Uus Ununseptium (294)	118 Uuo Ununoctium (294)

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

Design Copyright © 1997 Michael Davah (michael@davah.com), <http://www.davah.com/periodic/>

Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.

57 La Lantanio 138.9055	58 Ce Cerio 140.116	59 Pr Praseodimio 140.90765	60 Nd Neodimio 144.24	61 Pm Promezio (145)	62 Sm Samario 150.36	63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolinio 157.25	65 Tb Terbio 158.92534	66 Dy Diosproio 162.500	67 Ho Olmio 164.93032	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Tulio 168.93421	70 Yb Itterbio 173.04	71 Lu Lutezio 174.967
89 Ac Attinio (227)	90 Th Torio 232.0381	91 Pa Protoattinio 231.03588	92 U Uranio 238.02891	93 Np Nettunio (237)	94 Pu Plutonio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Curio (247)	97 Bk Berkelio (247)	98 Cf Californio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Fermio (257)	101 Md Mendelevio (258)	102 No Nobelio (259)	103 Lr Laurenzio (262)

Tavola periodica degli elementi

H ed He si sono formati nel Big Bang. Tutti gli altri elementi vengono formati nelle stelle.

The periodic table shows elements from Hydrogen (1) to Oganesson (118). Hydrogen (H) and Helium (He) are highlighted with blue boxes and arrows pointing to the explanatory text above. The table is color-coded by groups: Group 1 (orange), Group 2 (yellow), Groups 3-10 (pink), Groups 11-12 (light blue), Groups 13-18 (green), and Groups 19-20 (cyan). The lanthanide and actinide series are shown in separate boxes at the bottom.

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

Design Copyright © 1997 Michael Davah (michael@davah.com), <http://www.davah.com/periodic/>

Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.

57 La Lantanio 138.9055	58 Ce Cerio 140.116	59 Pr Praseodimio 140.90765	60 Nd Neodimio 144.24	61 Pm Promezio (145)	62 Sm Samario 150.36	63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolinio 157.25	65 Tb Terbio 158.92534	66 Dy Disprosio 162.500	67 Ho Olmio 164.93032	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Tulio 168.93421	70 Yb Itterbio 173.04	71 Lu Lutezio 174.967
89 Ac Attinio (227)	90 Th Torio 232.0381	91 Pa Protoattinio 231.03588	92 U Uranio 238.02891	93 Np Nettunio (237)	94 Pu Plutonio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Curio (247)	97 Bk Berkelio (247)	98 Cf Californio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Fermio (257)	101 Md Mendelevio (258)	102 No Nobelio (259)	103 Lr Laurenzio (262)

Tavola periodica degli elementi

Tutti gli elementi oltre il polonio (Z = 84) sono radioattivi.

Non esistono in natura elementi con $Z > 92$ (Uranio)

1 IA	Nuovo Originale																18 VIIIA		
1 H Idrogeno 1.00794																	2 He Elio 4.002602		
2 Li Litio 6.941	3 Na Sodio 22.989770	4 Be Berillio 9.012182											5 B Boro 10.811	6 C Carbonio 12.0107	7 N Azoto 14.00674	8 O Ossigeno 15.9994	9 F Fluoro 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797	
3 K Potassio 39.0983	4 Ca Calcio 40.078	11 Na Sodio 22.989770	12 Mg Magnesio 24.3050	3 III B	4 IV B	5 V B	6 VI B	7 VII B	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB	13 Al Alluminio 26.981538	14 Si Silicio 28.0855	15 P Fosforo 30.973761	16 S Zolfo 32.066	17 Cl Cloro 35.453	18 Ar Argon 39.948
4 K Potassio 39.0983	20 Ca Calcio 40.078	21 Sc Scandio 44.955910	22 Ti Titanio 47.867	23 V Vanadio 50.9415	24 Cr Cromo 51.9961	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Ferro 55.8457	27 Co Cobalto 58.933200	28 Ni Nichel 58.6934	29 Cu Rame 63.546	30 Zn Zinco 65.409	31 Ga Gallio 69.723	32 Ge Germanio 72.64	33 As Arsenico 74.92160	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Kriptone 83.798		
5 Rb Rubidio 85.4678	38 Sr Stronzio 87.62	39 Y Ittrio 88.90585	40 Zr Zirconio 91.224	41 Nb Niobio 92.90638	42 Mo Molibdeno 95.94	43 Tc Tecnecio (98)	44 Ru Rutenio 101.07	45 Rh Rodio 102.90550	46 Pd Palladio 106.42	47 Ag Argento 107.8682	48 Cd Cadmio 112.411	49 In Indio 114.818	50 Sn Stagno 118.710	51 Sb Antimonio 121.760	52 Te Tellurio 127.60	53 I Iodio 126.90447	54 Xe Xeno 131.293		
6 Cs Cesio 132.90545	56 Ba Bario 137.327	57 to 71		72 Hf Afrio 178.49	73 Ta Tantalio 180.9479	74 W Tungsteno 183.84	75 Re Renio 186.207	76 Os Osmio 190.23	77 Ir Iridio 192.217	78 Pt Platino 195.078	79 Au Oro 196.96655	80 Hg Mercurio 200.59	81 Tl Tallio 204.3833	82 Pb Piombo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98038	84 Po Polonio (209)	85 At Astatio (210)	86 Rn Radone (222)	
7 Fr Francio (223)	88 Ra Radio (226)	89 to 103		104 Rf Rutherfordio (261)	105 Db Dubnio (262)	106 Sg Seaborgio (266)	107 Bh Bohrio (264)	108 Hs Hassio (269)	109 Mt Meitnerio (268)	110 Ds Darmstadtio (271)	111 Rg Roentgenio (272)	112 Uub Ununbio (285)	113 Uut Ununtrio (284)	114 Uuq Ununquadio (289)	115 Uup Ununpentio (288)	116 Uuh Ununhexio (292)	117 Uus Ununseptio (294)	118 Uuo Ununoctio (294)	

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

Design Copyright © 1997 Michael Davah (michael@davah.com), <http://www.davah.com/periodic/>

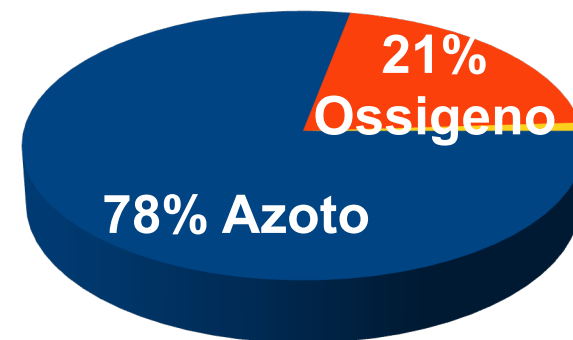
Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.

57 La Lantanio 138.9055	58 Ce Cerio 140.116	59 Pr Praseodimio 140.90765	60 Nd Neodimio 144.24	61 Pm Promezio (145)	62 Sm Samario 150.36	63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolinio 157.25	65 Tb Terbio 158.92534	66 Dy Disprosio 162.500	67 Ho Olmio 164.93032	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Tulio 168.93421	70 Yb Itterbio 173.04	71 Lu Lutezio 174.967
89 Ac Attinio (227)	90 Th Torio 232.0381	91 Pa Protoattinio 231.03588	92 U Uranio 238.02891	93 Np Nettunio (237)	94 Pu Plutonio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Curio (247)	97 Bk Berkelio (247)	98 Cf Californio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Fermio (257)	101 Md Mendelevio (258)	102 No Nobelio (259)	103 Lr Laurenzio (262)

Carta dei nuclidi di Segré

Molti elementi sono presenti in natura con diversi isotopi

Esempio: quali isotopi ci sono nell'aria?



PROTONI

8

8

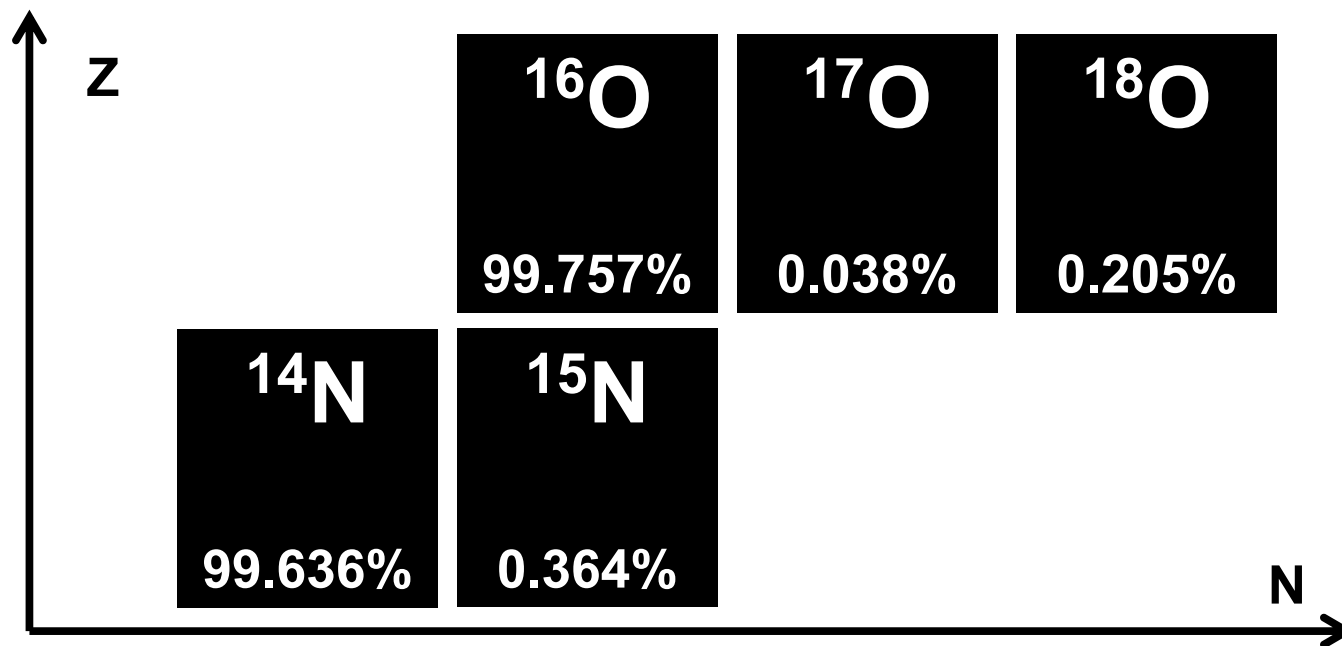
8

NEUTRONI

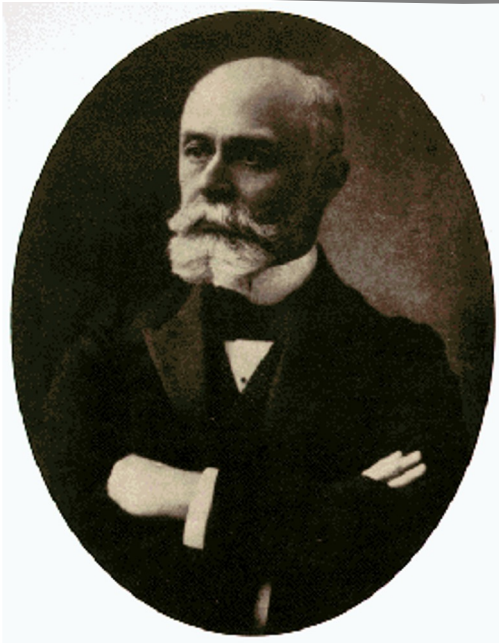
8

9

10

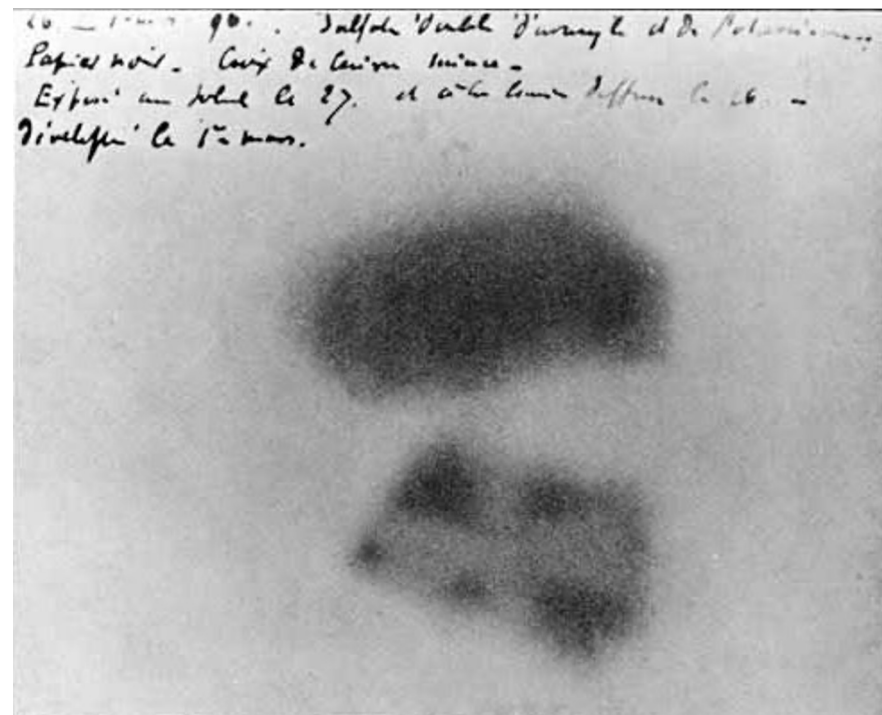


Scoperta della radioattività

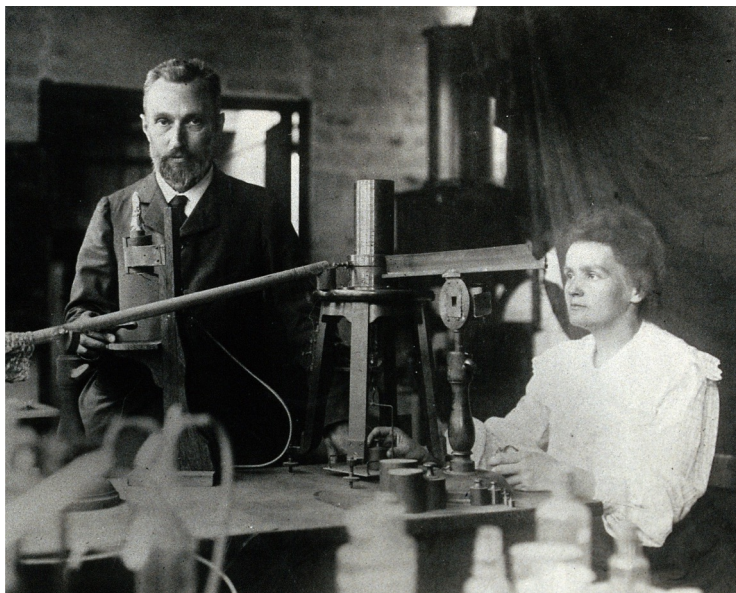


1896: Becquerel scopre la radioattività

Becquerel scoprì che i sali di uranio emettevano spontaneamente raggi di natura ignota, in grado di impressionare una lastra fotografica.



Scoperta della radioattività



1900-1908: Marie Curie scopre il radio e il polonio e sviluppa metodi efficaci per separare il radio dai minerali di uranio.

Nei suoi esperimenti notò che la pechblenda, minerale contenente soltanto piccole quantità di sali di uranio, manifestava una radioattività maggiore di quella dei sali di uranio: ne dedusse la presenza di qualche specie chimica ignota. Con vari procedimenti chimici riuscì a separare il polonio e il radio la cui radioattività risultava rispettivamente 400 e 1.000.000 di volte superiore a quella dei sali di uranio puri.



Radioattività e moda



Vetro all'uranio



Orologio al radio

CRÈME
COLD-CREAM
POUR PEAUX SÈCHES
CRÈME
MAURESQUE
FOND DE TEINT
POUDRE
SAVON
LAIT DE TOILETTE
— DÉMAQUILLANT —
ROUGE À LÈVRES
DENTIFRICE

THO-RADIA

MÉTODE
SCIENTIFIQUE
DE
BEAUTÉ

EN PHARMACIE EXCLUSIVEMENT

Crema di bellezza al radio

CERTIFICATE

SHOE-FITTING TEST DATA FOR _____

1. ANKLE ROLL GOOD FAIR POOR

2. WEIGHT DISTRIBUTION

3. X-RAY FITTING TEST

40%
60%
RIGHT WAY

LEFT RIGHT
____% BALL ____%
____% OUTER ____%
____% HEEL ____%

70%
30%
WRONG WAY

RIGHT WAY LEFT RIGHT WRONG WAY
 GOOD
 FAIR
 POOR

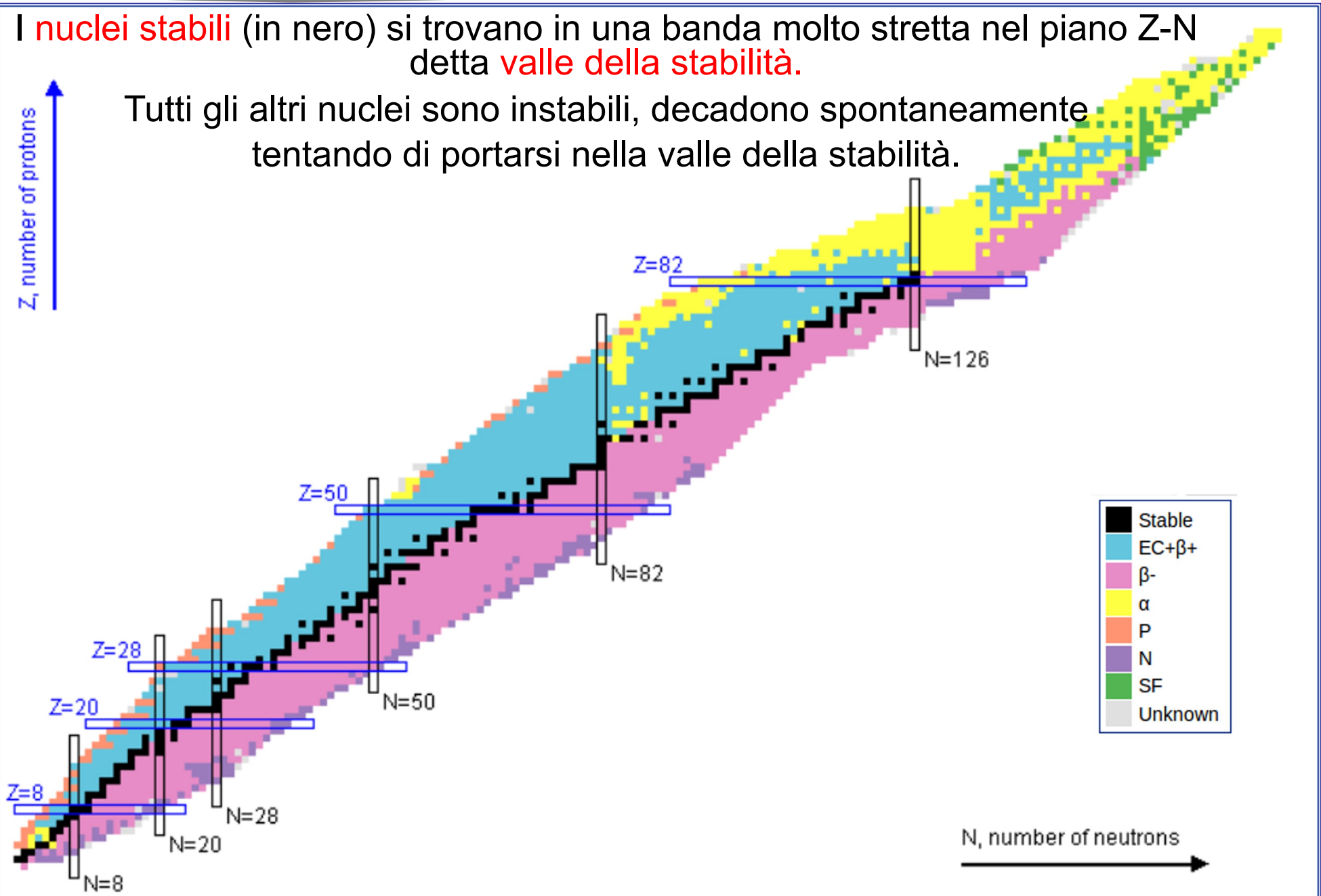
This scientific way of approaching the problem of poorly-fitted shoes eliminates guesswork. Now you can see for yourself!

Test di radiografia X per verificare la misura delle scarpe

La valle di stabilità

I **nuclei stabili** (in nero) si trovano in una banda molto stretta nel piano Z-N detta **valle della stabilità**.

Tutti gli altri nuclei sono instabili, decadono spontaneamente tentando di portarsi nella valle della stabilità.



La valle di stabilità

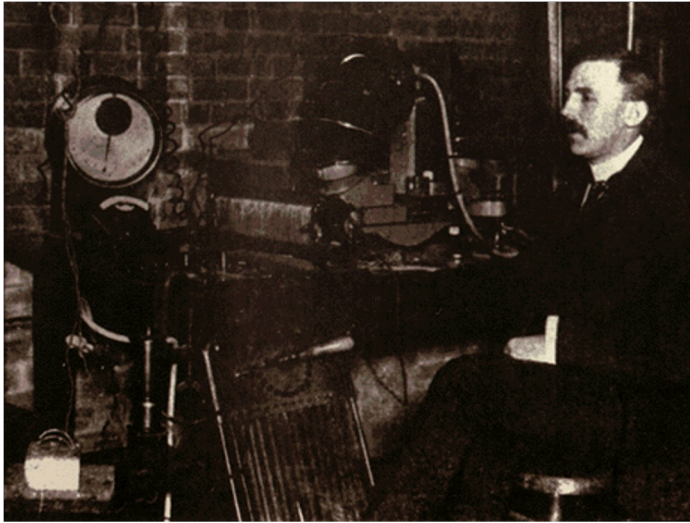
La stabilità di un nucleo dipende dal numero di protoni e neutroni
(Un eccesso di protoni o neutroni può rendere un nucleo instabile)

I nuclei **INSTABILI** sono detti **RADIOATTIVI** perché si trasformano spontaneamente in un altro nucleo emettendo radiazione

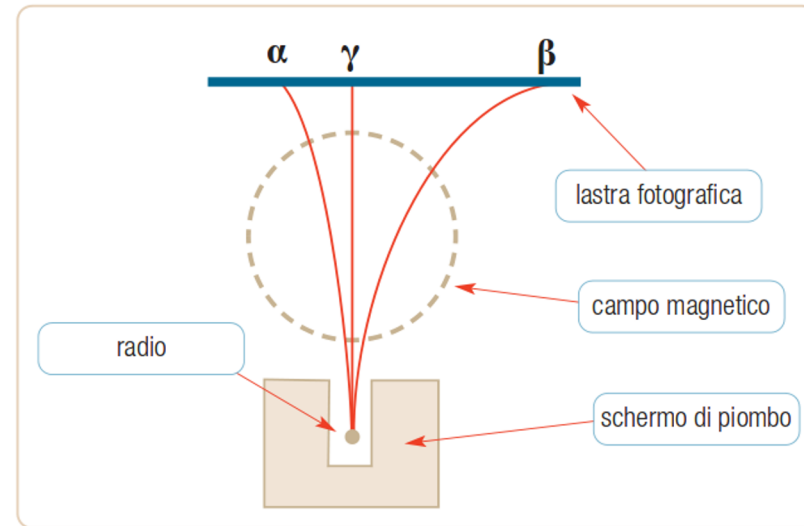
In un decadimento radioattivo,
un elemento può trasformarsi in un altro elemento!



Tipi di radiazione



1897: Rutherford scopre i raggi alfa, beta e gamma



In un campo elettrico le particelle beta vengono fortemente deflesse verso il polo positivo, quelle alfa sono deflesse in misura minore verso il polo negativo, mentre la traiettoria dei raggi gamma non risente dell'effetto del campo.

Ne deriva che le particelle beta sono dotate di carica negativa, le particelle alfa trasportano cariche positive (e hanno massa maggiore delle particelle beta) e i raggi gamma sono elettricamente neutri.



Tipi di radiazione

α

Nuclei di elio



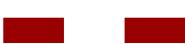
Massa $6.7 \cdot 10^{-27}$ kg

Carica +

Foglio di carta



γ



β

Elettroni



Massa $9.1 \cdot 10^{-31}$ kg

Carica -

Foglio di alluminio



γ

Fotoni

Massa 0

Carica 0

10 cm piombo



Misura della radioattività

La radioattività viene quantificata in termini di disintegrazione per unità di tempo.

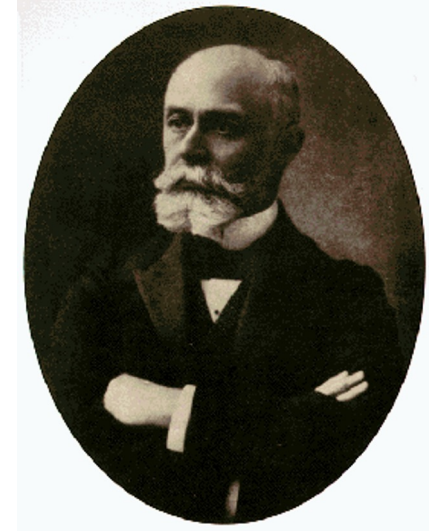
1 Becquerel (Bq) = 1 disintegrazione al secondo

Una storica unità è il Curie (Ci), la quantità di radiazione emessa da 1 grammo di radio (^{226}Ra).

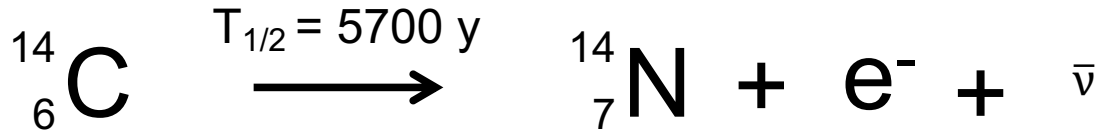
1 Curie (Ci) = 3.7×10^{10} disintegrazioni al secondo

ossia:

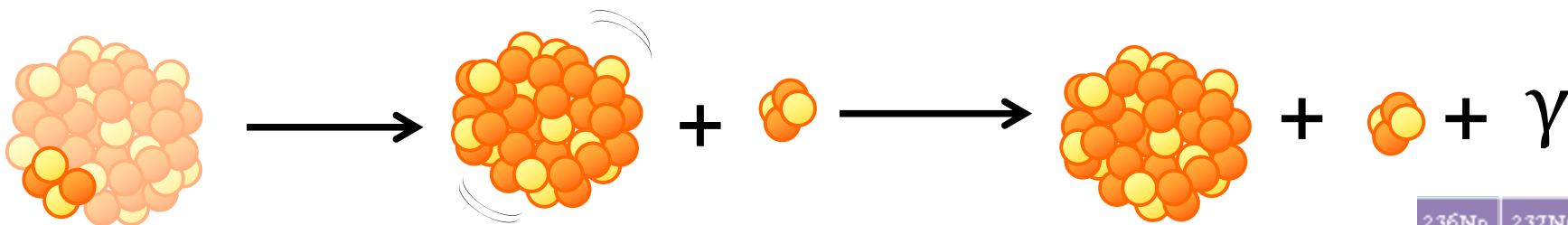
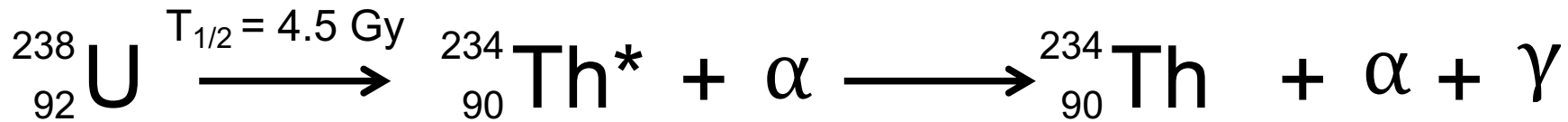
1 Curie (Ci) = 3.7×10^{10} Bq or 37 GBq



Esempi di decadimenti



13N	14N	15N
12C	13C	14C



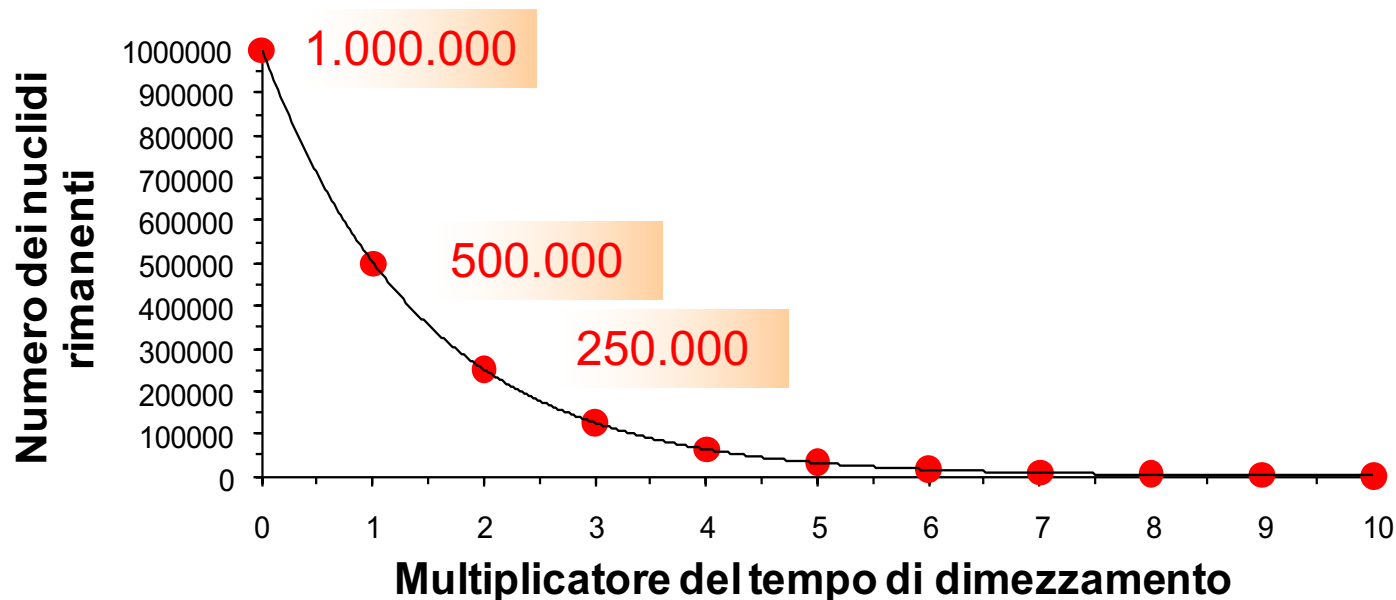
236Np	237Np	238Np	239Np	240Np
235U	236U	237U	238U	239U
234Pa	235Pa	236Pa	237Pa	238Pa
233Th	234Th	235Th	236Th	237Th

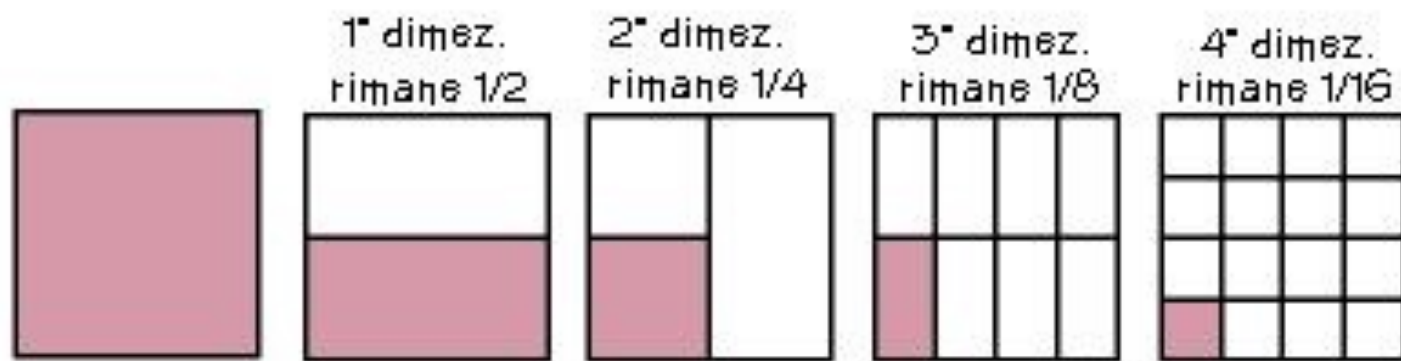
Legge del decadimento radioattivo

Se al tempo $t = 0$ ho N_0 nuclei, quanti ne avrò dopo un tempo t ?

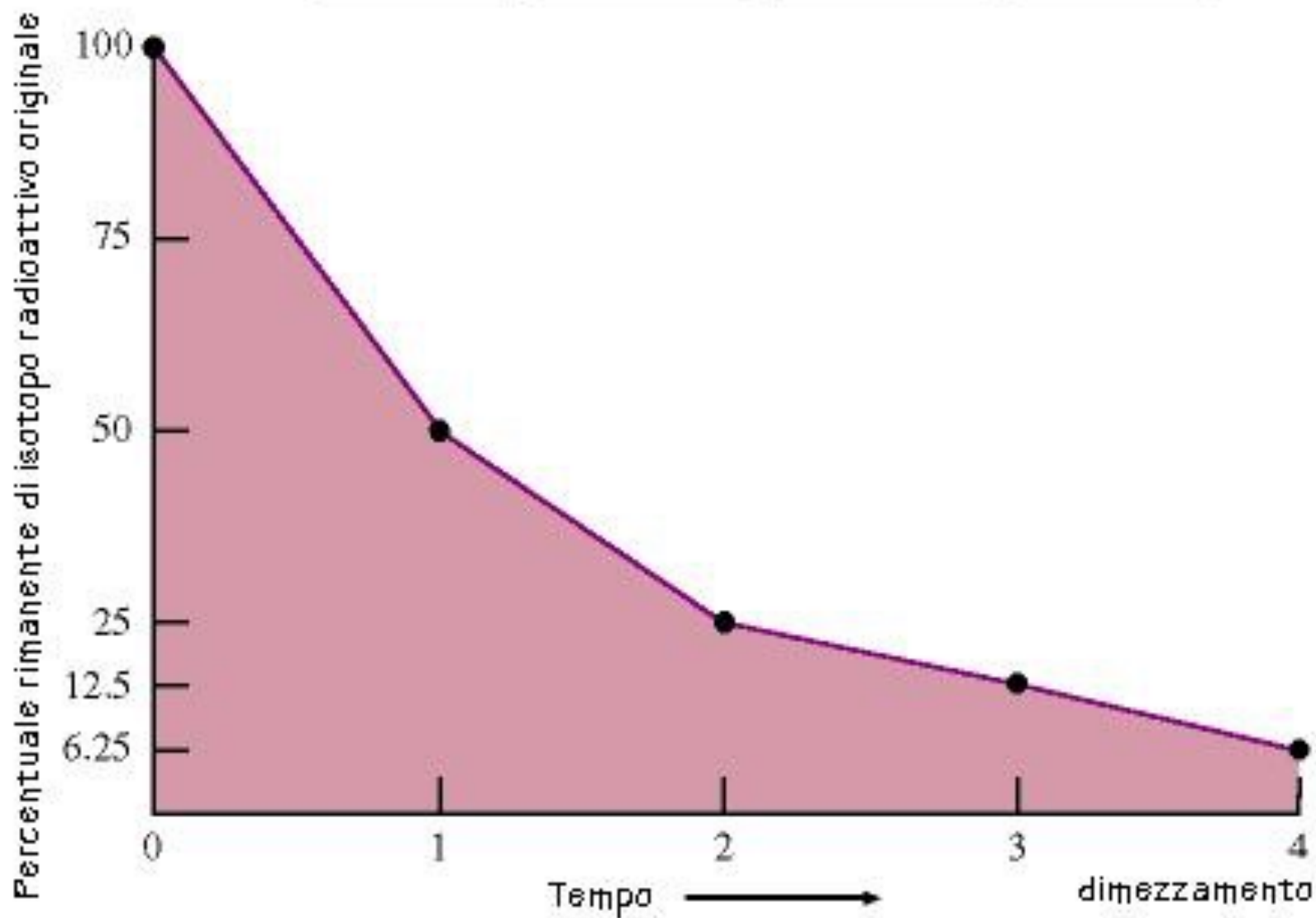
$$A(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{N(t)}{\tau} \qquad N(t) = N_0 \left(\frac{1}{e}\right)^{\frac{t}{\tau}} = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

t è detto **vita media**, mentre $T_{1/2}$ è detto **TEMPO DI DIMEZZAMENTO**, cioè il tempo dopo il quale la metà dei nuclei sono decaduti, e dunque la metà è sopravvissuta.





t è d
temp
sopr



è il

Radioattività in natura

L'ambiente in cui viviamo tutti i giorni è naturalmente radioattivo!

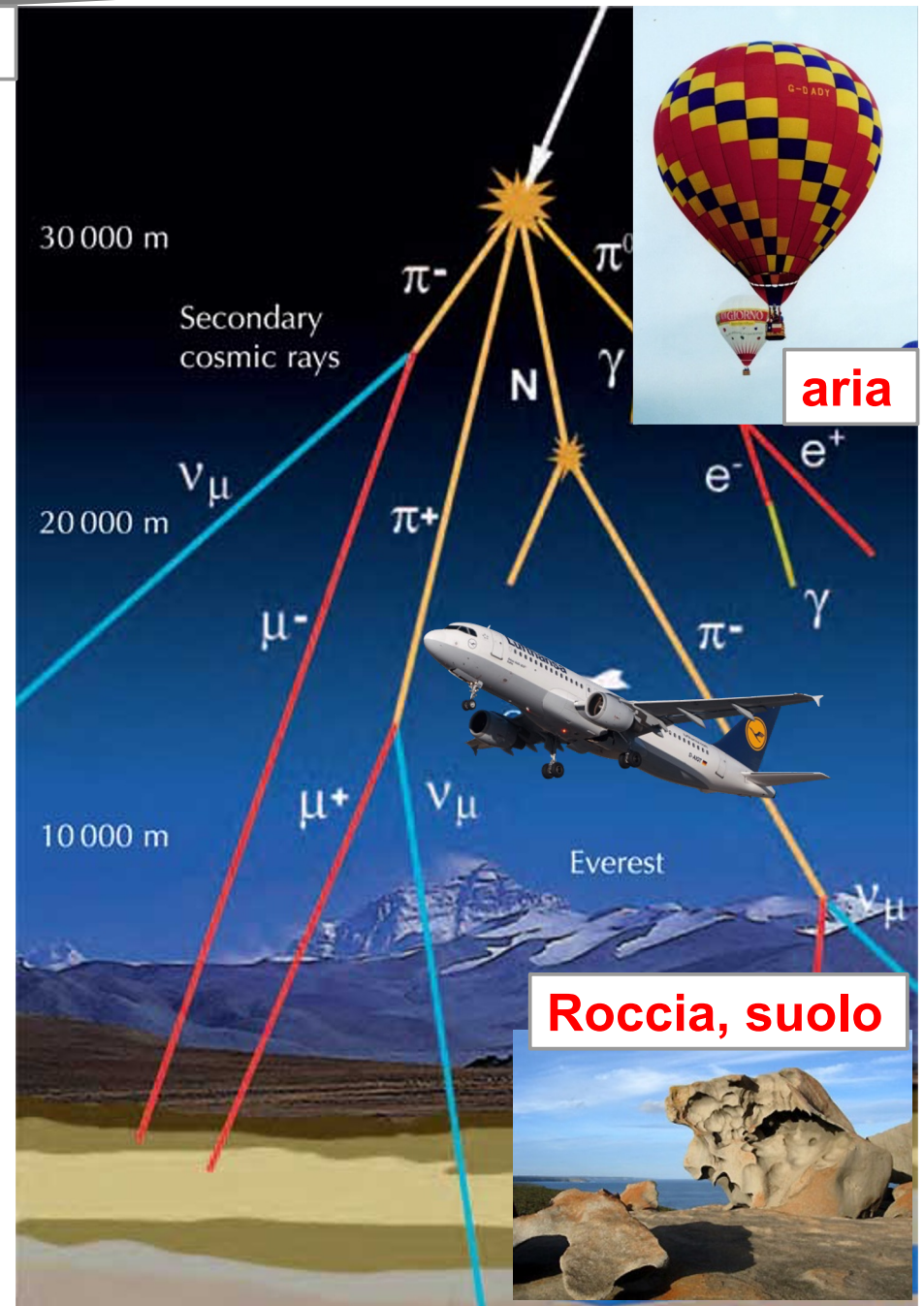


Gli esseri umani contaminano l'ambiente e generano sorgenti artificiali di radioattività.



Nothing in life is to be feared, it is only to be understood. Now is the time to understand more, so that we may fear less.

Marie Curie

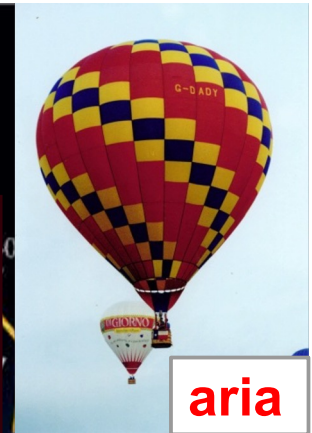


Radioattività in natura

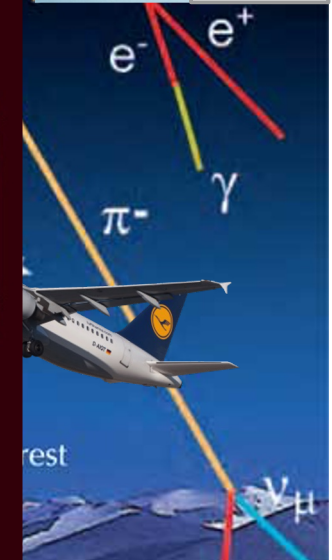
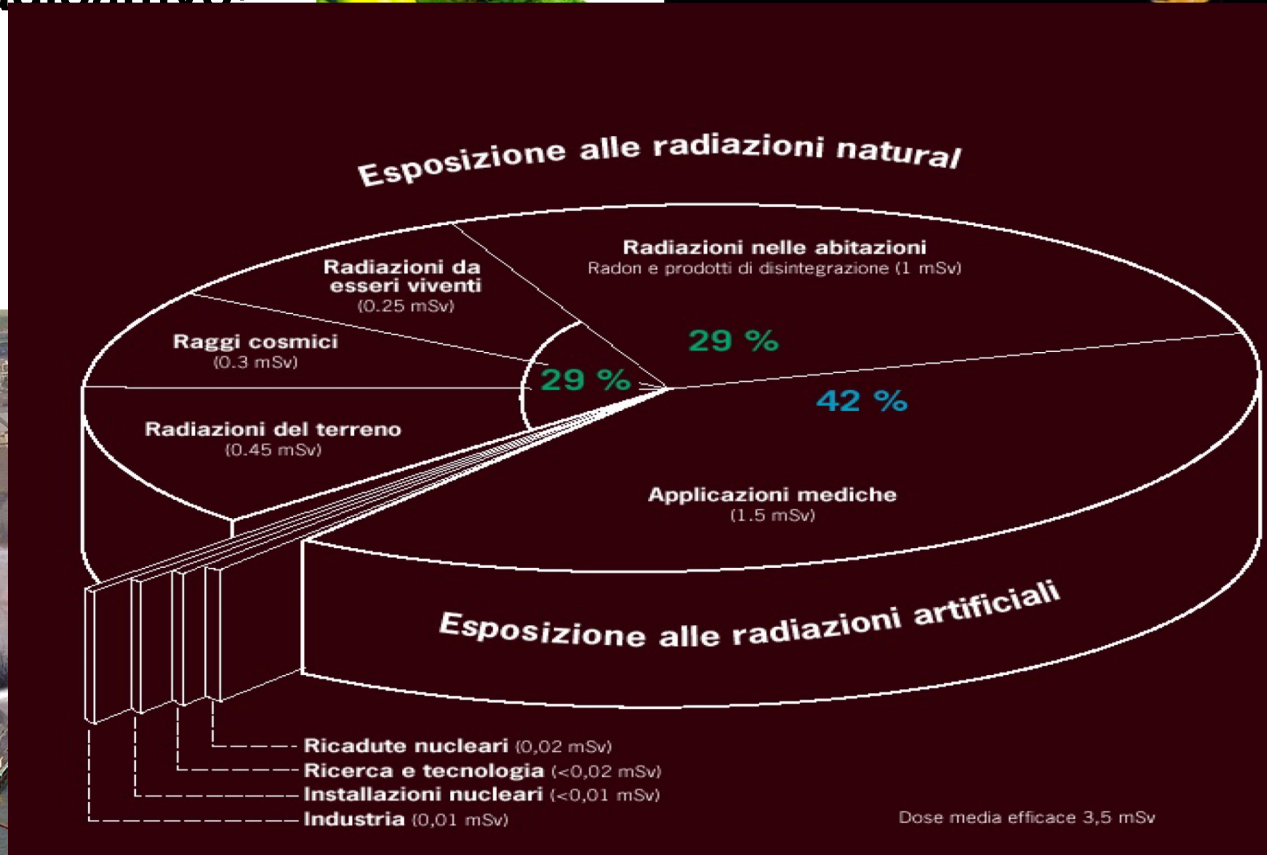
L'ambiente in cui viviamo
tutti i giorni è
naturalmente radioattivo!



dieta



aria



roccia, suolo

Nothing in life is to be feared, it is only to be understood. Now is the time to understand more, so that we may fear less.

Marie Curie



Radioattività in natura

La radioattività naturale si può classificare secondo l'origine in due categorie generali:

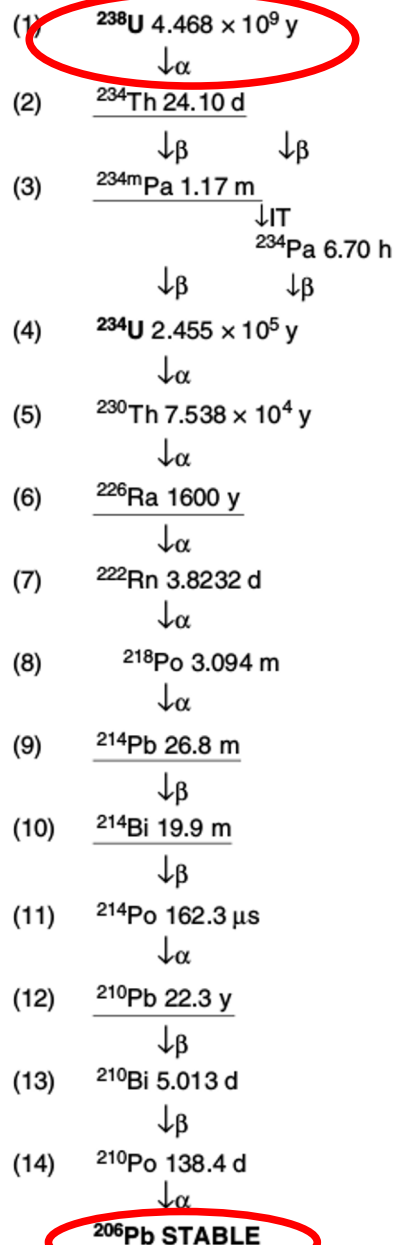
- **Primordiale** – esistente già prima della creazione della Terra

Nuclide	Tempo di dimezzamento	Abbondanza isotopica naturale
^{235}U	$7.04 \times 10^8 \text{ yr}$	0.7% dell' uranio totale
^{238}U	$4.47 \times 10^9 \text{ yr}$	99.3% dell' uranio totale
^{232}Th	$1.41 \times 10^{10} \text{ yr}$	100% del torio totale
^{40}K	$1.28 \times 10^9 \text{ yr}$	0.012% del potassio totale
^{87}Rb	$4.75 \times 10^{10} \text{ yr}$	27.8% del rubidio totale

- **Cosmogenico** – formata dai raggi cosmici provenienti dallo spazio

Nuclide	Tempo di dimezzamento	Sorgente
^{14}C	5730 yr	$^{14}\text{N}(\text{n,p})^{14}\text{C}$
^3H	12.3 yr	Cosmic-ray interactions with N and O, $^6\text{Li}(\text{n}, \alpha)^3\text{H}$
^7Be	53.28 days	Cosmic-ray interactions with N and O

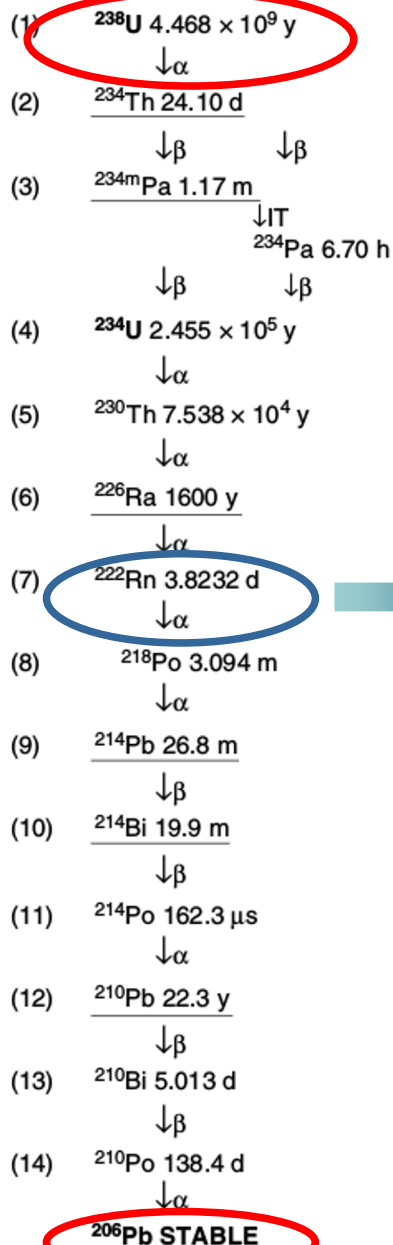
La catena del ^{238}U



L'isotopo più abbondante dell'uranio, ^{238}U , decade in ^{206}Pb attraverso una serie di decadimenti α e β

Il tempo di dimezzamento è $T_{1/2} = 4,5$ miliardi di anni, confrontabile con l'età della Terra.

La catena del ^{238}U



L'isotopo più abbondante dell'uranio, ^{238}U , decade in ^{206}Pb attraverso una serie di decadimenti α e β

Il tempo di dimezzamento è $T_{1/2} = 4,5$ miliardi di anni, confrontabile con l'età della Terra.

Tra i prodotti del decadimento del ^{238}U c'è il radon-222, un gas nobile radioattivo

Essendo un gas nobile, si immette nell'aria, viene respirato e si accumula nei polmoni.

Il ^{222}Rn ha $T_{1/2} = 3,8$ giorni
E decade emettendo α che danneggiano le cellule circostanti.

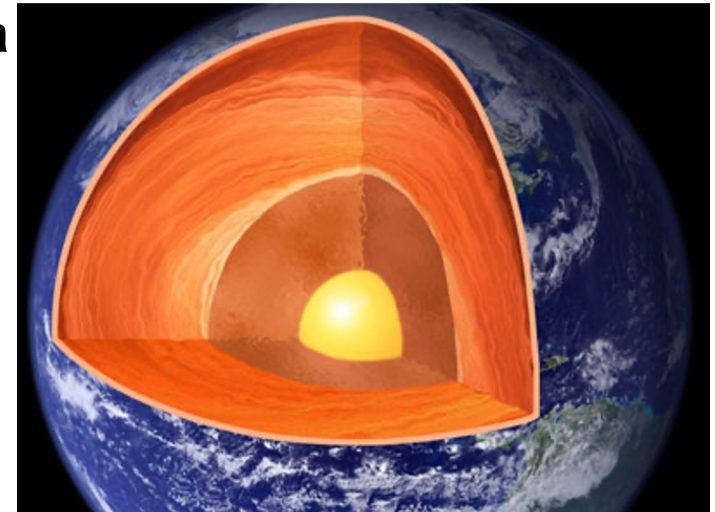


La catena del ^{232}Th

Il ^{232}Th è l'unico isotopo di torio esistente in natura

$T_{1/2} = 14$ miliardi di anni

- (1) ^{232}Th 1.405×10^{10} y
↓ α
 - (2) ^{228}Ra 5.75 y
↓ β
 - (3) ^{228}Ac 6.15 h
↓ β
 - (4) ^{228}Th 1.9127 y
↓ α
 - (5) ^{224}Ra 3.627 d
↓ α
 - (6) ^{220}Rn 55.8 s
↓ α
 - (7) ^{216}Po 150 ms
↓ α
 - (8) ^{212}Pb 10.64 h
↓ β
 - (9) ^{212}Bi 60.54 m
↓ β (64.06%) ↓ α (35.94%)
↓ α (35.94%) ↓ β (64.06%)
 - (10) ^{212}Po 0.300 μs ^{208}Tl 3.060 m
↓ α ↓ β
- ^{208}Pb STABLE**



La radiazione emessa nel decadimento di uranio e torio è responsabile della produzione del 50% del calore irradiato dalla Terra!

I decadimenti radioattivi producono

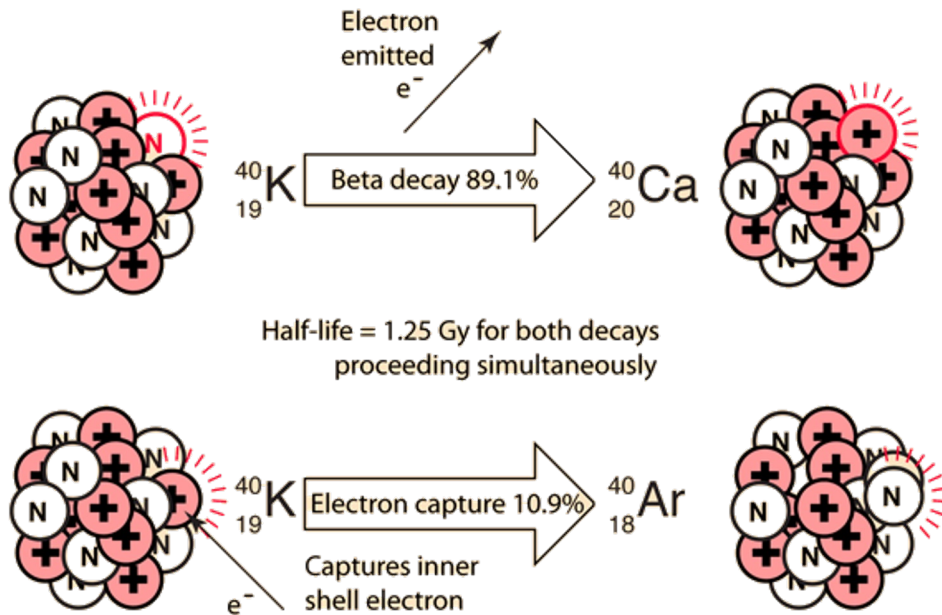
$$20 \text{ TW} = 20 \times 10^{12} \text{ W}$$

^{40}K

^{40}K è lo 0,012% del potassio naturale

$T_{1/2} = 1,25$ miliardi di anni

Può decadere in due modi:



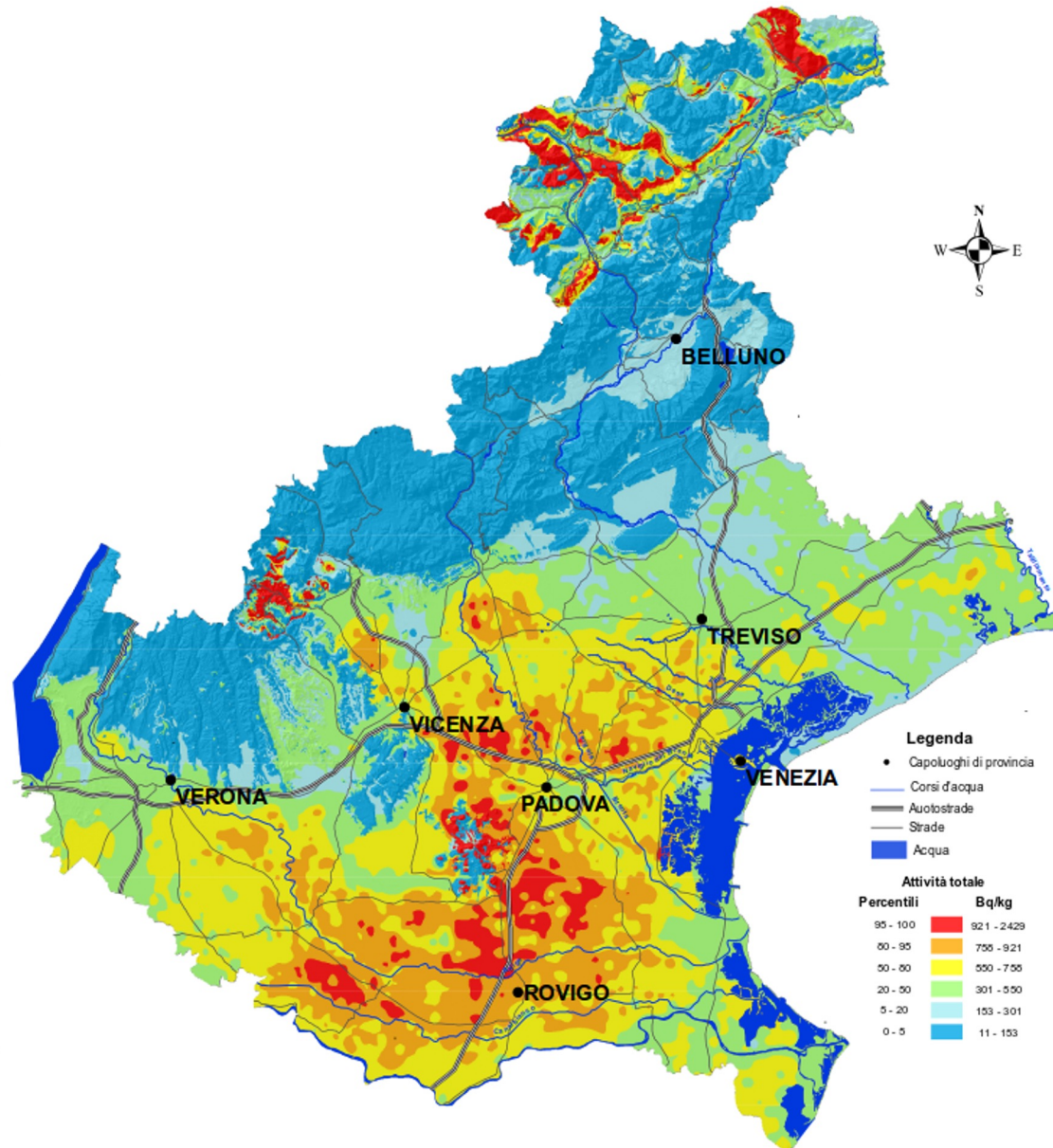
Una persona dal peso di 70 kg contiene circa 160g di potassio, di cui 0,02g di ^{40}K

Nel nostro corpo ci sono 4900 decadimenti al secondo di ^{40}K (4900 Bq)!

Cibo	Attività per 100g [Bq]
Banane	13,0
Carote	12,6
Patate	12,6
Birra	1,4
Carne rossa	11,1

Source: Handbook of Radiation Measurement and Protection, Brodsky, A 1978

Radioattività ambientale



<http://www.fe.infn.it/italrad/index.html>

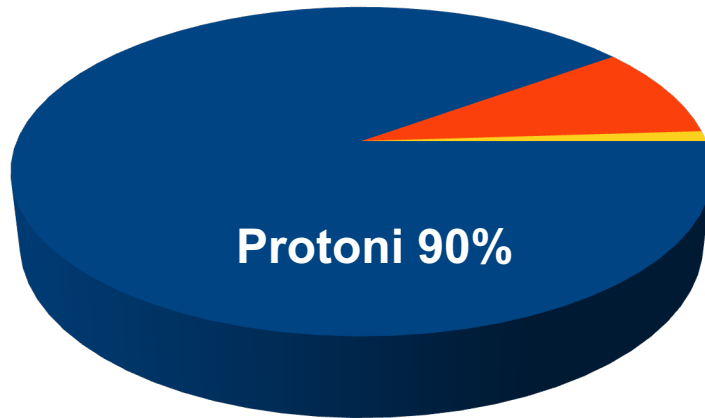
Raggi cosmici

La Terra è continuamente bombardata da **raggi cosmici**, particelle subatomiche provenienti dallo spazio che viaggiano ad altissima velocità

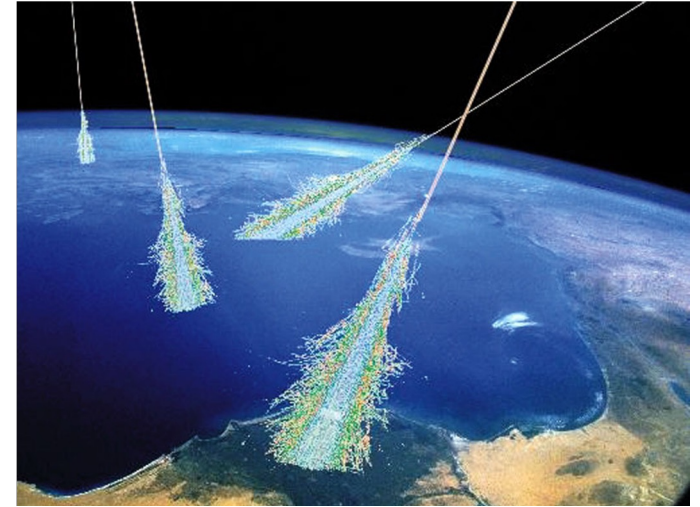
I raggi cosmici sono composti da:

Elettroni + elementi pesanti (Li ... Ni) 1%

Alfa 9%



Circa 100.000 raggi cosmici attraversano il nostro corpo ogni ora!



Quando i raggi cosmici colpiscono la parte alta dell'atmosfera, interagiscono con gli atomi dell'aria e generano uno sciame di particelle secondarie più leggere e di minore energia



Applicazioni del decadimento β^- : Datazione al ^{14}C

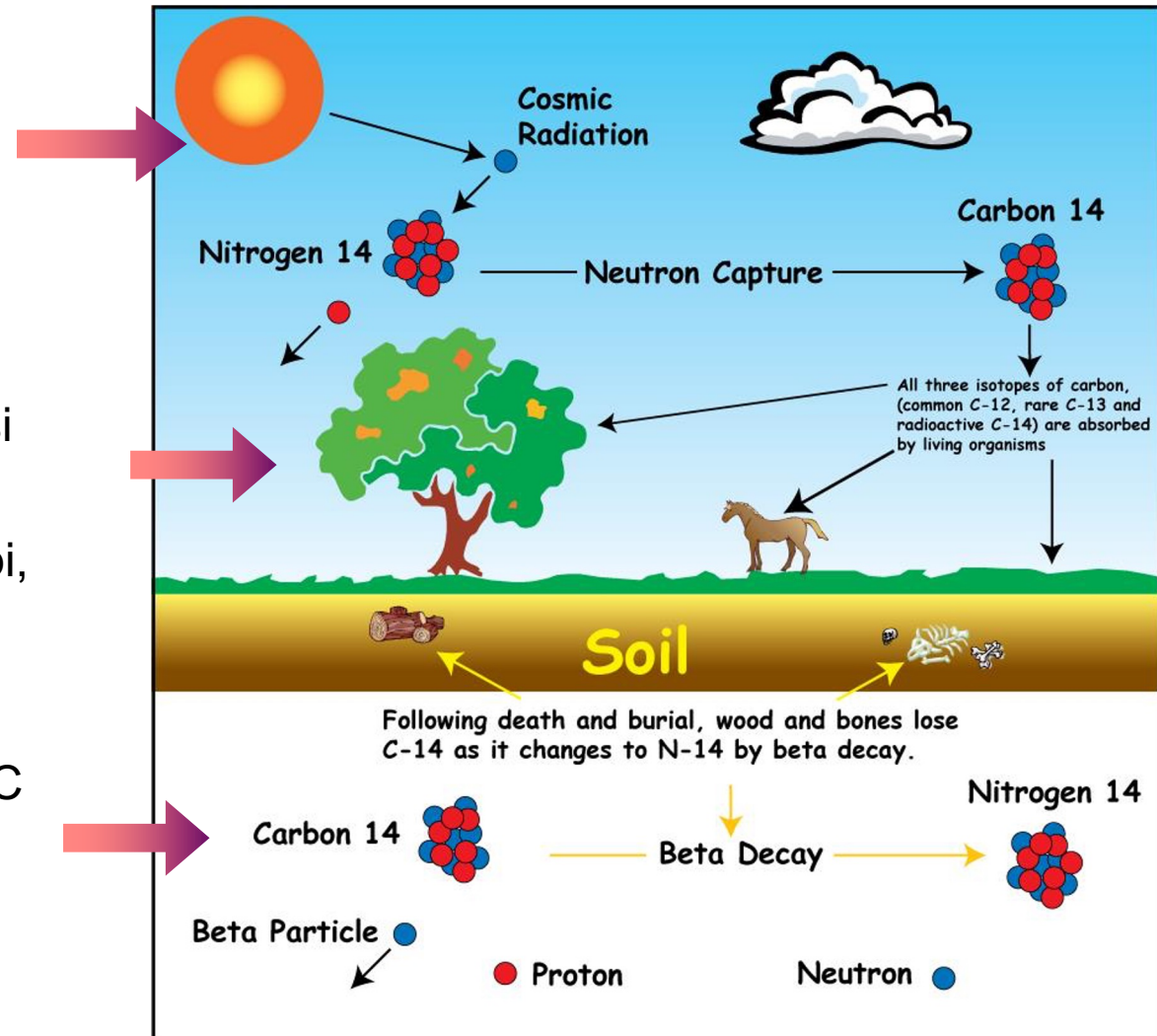
La datazione al ^{14}C permette di determinare l'età di esseri che hanno vissuto nel passato e che hanno assunto CO_2

Il ^{14}C , un isotopo instabile, si forma in atmosfera per interazione di un neutrone con un nucleo di ^{14}N

Il ^{14}C si ossida in $^{14}\text{CO}_2$ ed entra nel ciclo biologico attraverso la fotosintesi e la catena alimentare.

Poiché la chimica non distingue gli isotopi, negli organismi viventi si ha la stessa concentrazione di ^{14}C dell'atmosfera.

Da quando l'organismo muore ($t = 0$) il ^{14}C può solo decadere, e la sua concentrazione diminuisce nel tempo.



Applicazioni del decadimento β^- : Datazione al ^{14}C

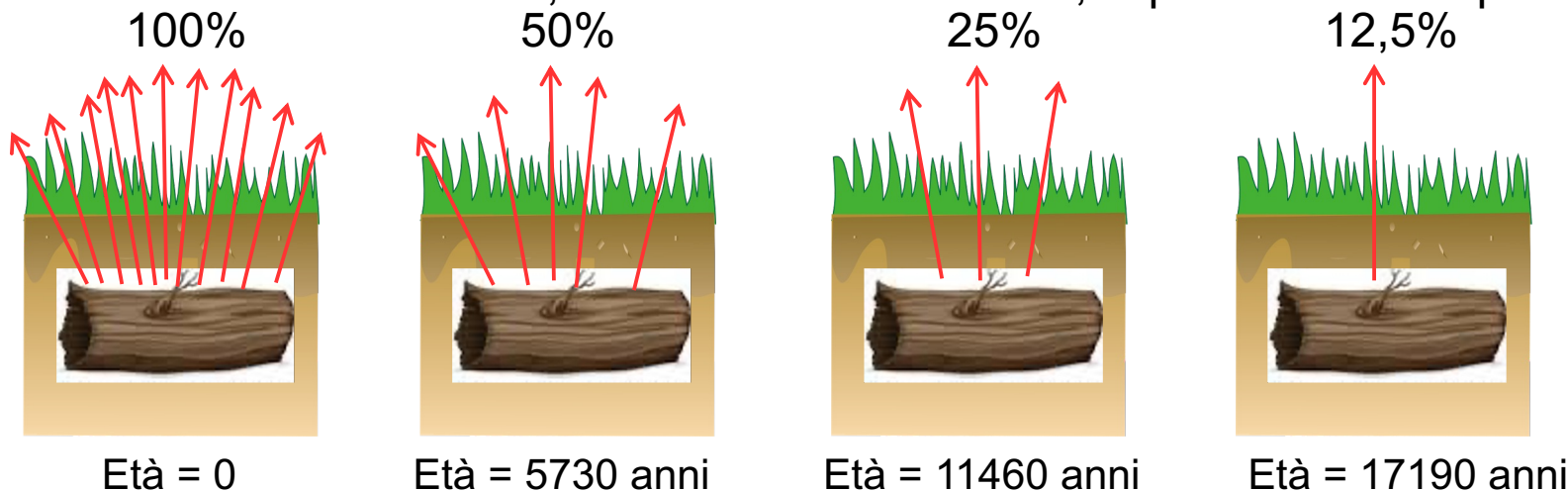
- La concentrazione di ^{14}C nell'atmosfera è costante ad ogni epoca:

$$\frac{N^{14}\text{C}}{N^{12}\text{C}} \sim 10^{-12}$$

- Il tempo di dimezzamento del ^{14}C è $T_{1/2} = 5730$ anni,

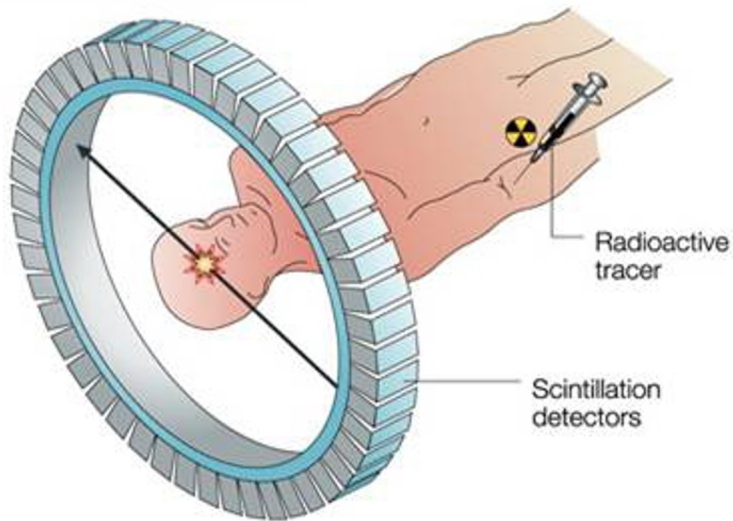
- Il ^{14}C decade seguendo la legge del decadimento radioattivo,
quindi $c(t) = c_0 \times 2^{-t/T_{1/2}}$

Quindi misurando l'attività di ^{14}C , o la sua concentrazione, si può risalire all'epoca della morte



Applicazioni del decadimento β^+ : PET

La PET (Positron Emission Tomography): è una tecnica usata in medicina nucleare che produce immagini 3D dei processi funzionali degli organismi.



Al paziente viene somministrato un composto (es. glucosio) contenente nuclei che decadono con emissione di positroni (es. ^{18}F).

Il ^{18}F segue lo stesso percorso del glucosio, ma invece di essere metabolizzato rimane intrappolato nei tessuti.

Misurando la radiazione emessa dal ^{18}F si possono mappare le regioni con alto assorbimento di glucosio