



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

OpenLAB
EDUCAZIONE E
DIVULGAZIONE SCIENTIFICA

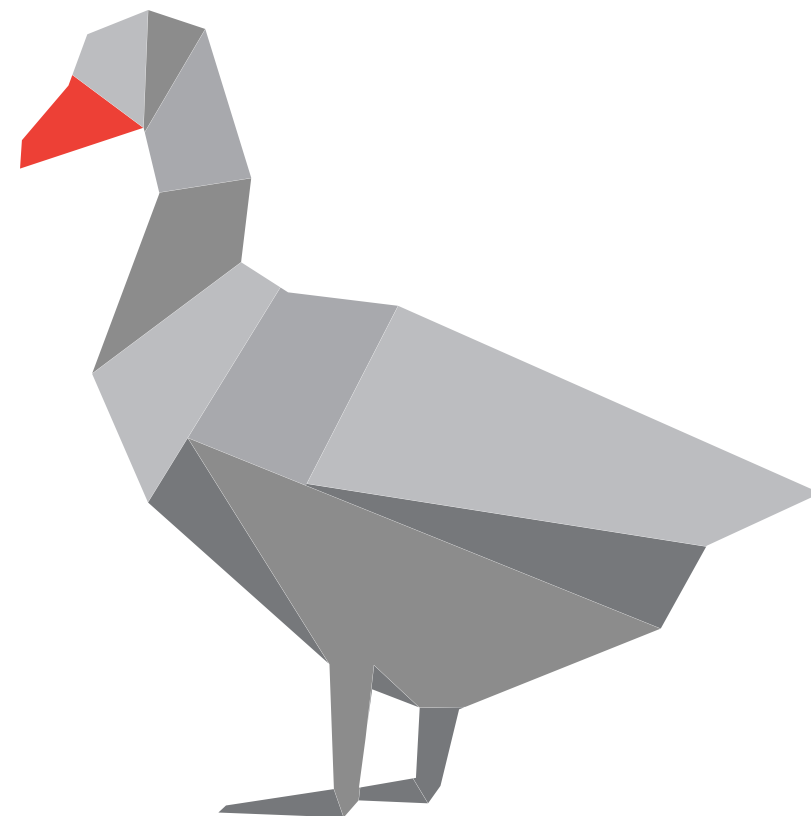


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Gioco dell'oca dei decadimenti radioattivi

le catene dei radionuclidi primordiali

prima parte
qualche nozione per iniziare

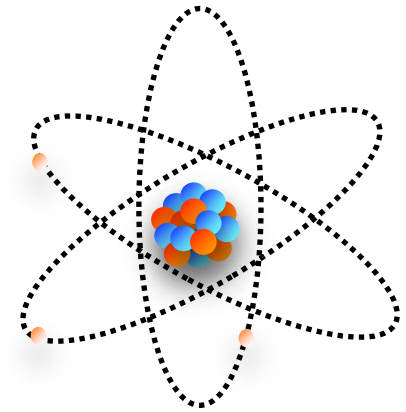



giochi

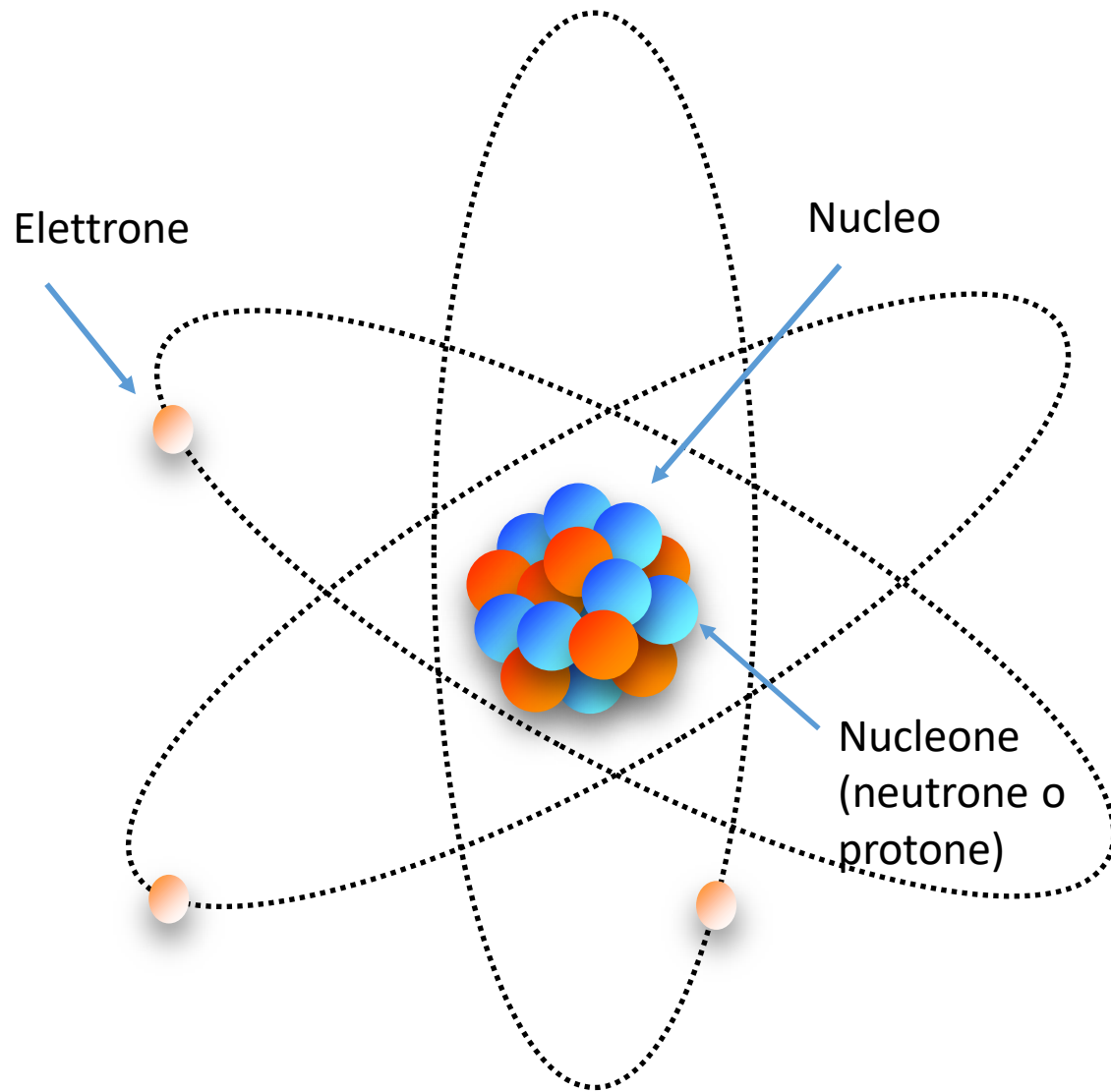
SCIENZESTATE
www.openlab.unifi.it
OpenLab_Firenze
#scienzeestate **2020**

Gli atomi

- Tutto quello che esiste è fatto di **atomi**, cioè di pezzettini piccolissimi
- La parola "atomo " viene dal greco (l'idea è di Democrito, un filosofo greco del IV secolo a.C.) e significa " non divisibile "
- In realtà non è vero che gli atomi sono indivisibili
- Come è stato scoperto 2500 anni dopo (nel 1911) da Rutherford e successivamente spiegato meglio da Bohr nel 1913, **gli atomi sono fatti di una parte centrale (il nucleo), con intorno una nuvola di elettroni**
- E nemmeno i **nuclei** sono indivisibili, **sono formati da nucleoni** (che sono **di due tipi, protoni e neutroni**) che a loro volta sono formati da particelle elementari ancora più piccole (i **quark**)
- Gli elettroni invece sono davvero particelle elementari, cioè non si possono ulteriormente dividere



L'atomo



Gli atomi sono veramente molto piccoli, hanno dimensioni dell'ordine di 10^{-10}m (=0.0000000001m)

I nuclei sono ancora più piccoli: hanno dimensioni dell'ordine di 10^{-15}m

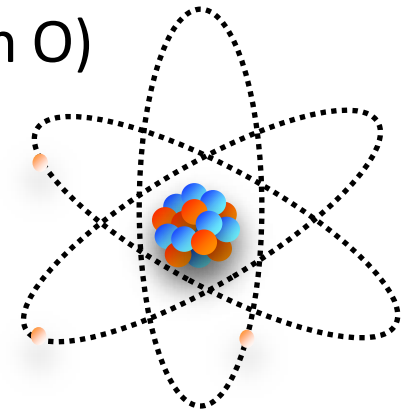
Gli elettroni sono ancora più piccoli: hanno dimensioni pari a 10^{-22}m .
Pesano pochissimo: $9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$

I nucleoni pesano molto di più degli elettroni: i protoni pesano $1.673 \times 10^{-27}\text{ kg}$ (circa 1840 volte più degli elettroni)

I neutroni pesano $1.675 \times 10^{-27}\text{ kg}$ (leggermente più dei protoni)

Gli elementi chimici

- **Gli atomi non sono tutti uguali tra loro, anzi hanno proprietà molto diverse.** Pensiamo ad esempio al ferro, all'oro, a gas come l'ossigeno o l'azoto e così via.
- **Il tipo di atomo** (cioè il fatto che sia oro o ferro o rame o ossigeno) **è determinato dal numero di protoni nel nucleo**, che è anche uguale al numero di elettroni che sono intorno al nucleo (se l'atomo è elettricamente neutro cioè non è ionizzato, vale a dire che non gli sono stati strappati o aggiunti elettroni)
- Il numero di protoni si indica con **Z** (es. $Z=2$ vuole dire atomo con 2 protoni)
- **Un tipo di atomi con un numero di protoni fissato si chiama elemento chimico** ed ha un proprio nome (per esempio l'elemento con $Z=8$ è l'Ossigeno e si indica con O)



La tavola periodica degli elementi

- E' possibile rappresentare tutti i tipi di atomi che esistono (cioè tutti gli elementi chimici) in una tabella, che si chiama **tavola periodica degli elementi**, inventata nel 1869 da Mendeleev

Tavola Periodica degli Elementi

1 IA Nuovo Originale												18 VIIIA					
1 H Idrogeno 1.00784	2 He Elio 4.002602											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
3 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 20.1797
11 Na Sodio 22.989770	12 Mg Magnesio 24.3050	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9 VIII	10	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
19 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
37 Rb Rubidio 88.4678	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
55 Cs Cesio 132.90545	56 Ba Bario 137.327	57 to 71	72 Hf Hafnio 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)
87 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 (285)	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 (289)	117 Uus Ununseptio (289)	118 Uuo Ununoctio (289)

- Metalli alcalini
- Metalli alcalino terrosi
- Metalli del blocco d
- Lantanidi
- Attinidi
- Metalli del blocco p
- Nonmetalli
- Gas nobili
- Solidi
- Liquidi
- Gas
- Artificiali

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

Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com). <http://www.dayah.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 Necdimo 144.24	61 Pm Promezio (145)	62 Sm Samario 150.36	63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolino 157.25	65 Tb Terbio 158.92534	66 Dy Disprosio 162.500	67 Ho Olmio 164.93032	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Tullio 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 (262)	100 Fm Fermio (267)	101 Md Mendelevio (268)	102 No Nobelio (269)	103 Lr Laurenzio (262)

Nella tavola gli elementi sono messi in ordine di numero di protoni (Z) crescente. Sono indicati da una sigla (una o due lettere) che ne rappresenta il nome

Numero di protoni (Z)

1	2											18						
1 IA	2 IIA											2 VIIIA						
1 H Idrogeno 1.00784													2 He Elio 4.002602					
3 Li Litio 6.941	4 Be Berillio 9.012182												10 Ne Neon 20.1797					
11 Na Sodio 22.989770	12 Mg Magnesio 24.3050												18 Ar Argon 39.948					
19 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	
37 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	
55 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)
87 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 (285)	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)

- Metalli alcalini
- Metalli alcalino terrosi
- Metalli del blocco d
- Lantanidi
- Attinidi
- Metalli del blocco p
- Nonmetalli
- Gas nobili
- C Solidi
- Br Liquidi
- H Gas
- Tc Artificiali

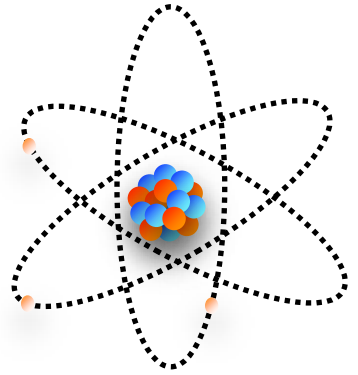


Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

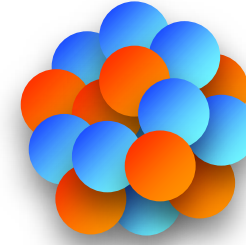
Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com). <http://www.dayah.com/periodic>

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 Necdimio 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 Disprozio 162.500	67 Ho Olmio 164.93032	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Tullio 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)



I nuclei



- Il nucleo è costituito da due tipi di nucleoni:
 - I **protoni**
 - I **neutroni**
- **Il numero di protoni Z è quello che definisce l'elemento**; per esempio, $Z=6$ è il carbonio, che si indica con il simbolo C
- Ma possiamo avere tipi di Carbonio con diverso numero di neutroni

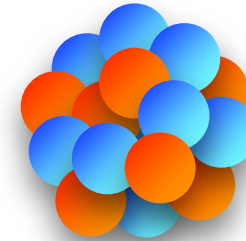
Per esempio, possiamo avere Carbonio con 5,6,7 oppure 8 neutroni. Il numero di neutroni si indica con **N**

Quando abbiamo carbonio con 5 neutroni, abbiamo il carbonio 11 ($11=5$ neutroni + 6 protoni perché il carbonio ha sempre 6 protoni), che si indica con ^{11}C . Il numero **11** si chiama **numero di massa** e si indica con **A**. Abbiamo che **$A=N+Z$**

Quando abbiamo C con 6 neutroni abbiamo il ^{12}C ; con 7 neutroni abbiamo il ^{13}C , con 8 neutroni il ^{14}C .

Nuclei che hanno lo stesso numero di protoni ma numero di neutroni diverso si chiamano isotopi

I nuclei



- Il nucleo è costituito da due tipi di nucleoni:
 - I **protoni**
 - I **neutroni**
- **Il numero di protoni Z è quello che definisce l'elemento**; per esempio, $Z=6$ è il carbonio, che si indica con il simbolo C
- Ma possiamo avere tipi di Carbonio con diverso numero di neutroni

Nuclei che hanno lo stesso numero di protoni ma numero di neutroni diverso si chiamano isotopi

Quindi ^{11}C , ^{12}C , ^{13}C e ^{14}C sono tutti isotopi del carbonio e tutti hanno numero di protoni $Z=6$, ma diverso numero di neutroni ($N=5,6,7,8$)

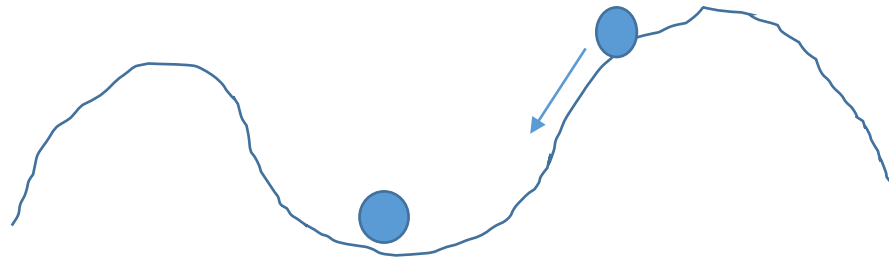
Isotopi possibili

- E' possibile avere nuclei con un numero di neutroni qualsiasi?

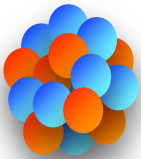
La risposta è: No

Un nucleo può esistere solo se neutroni e protoni «ci guadagnano» a stare insieme cioè se mettendoli insieme il sistema risulta «legato», vale a dire che ha energia più bassa di quando neutroni e protoni sono separati

Infatti è una regola generale che tutti i sistemi tendono ad andare verso minimi di energia



La pallina tende ad andare sul fondo della buca perché lì l'energia (potenziale gravitazionale cioè di posizione) è più bassa

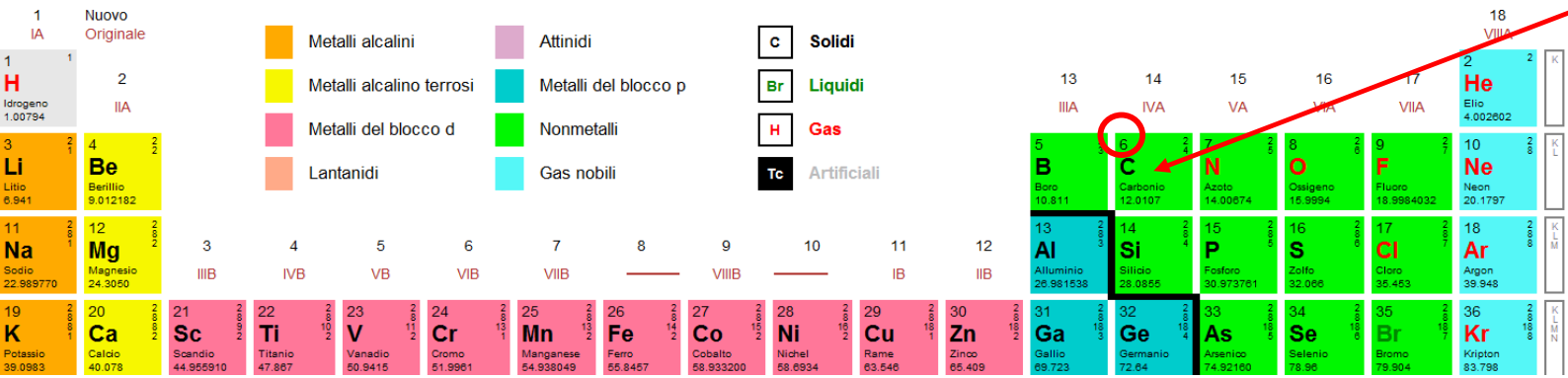


La carta dei nuclidi

Riprendiamo i nostri isotopi del Carbonio: ^{11}C ^{12}C ^{13}C ^{14}C , tutti con numero di protoni $Z=6$ e numero di neutroni $N=5,6,7,8$ (il numero di massa $A=Z+N$ è 11, 12, 13, 14)

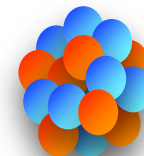
Nella tavola periodica gli elementi sono riportati al variare del numero di protoni Z .

Tavola Periodica degli Elementi



Tutti i nostri isotopi del carbonio finiscono qui

Ma se noi volessimo rappresentare gli isotopi separatamente?

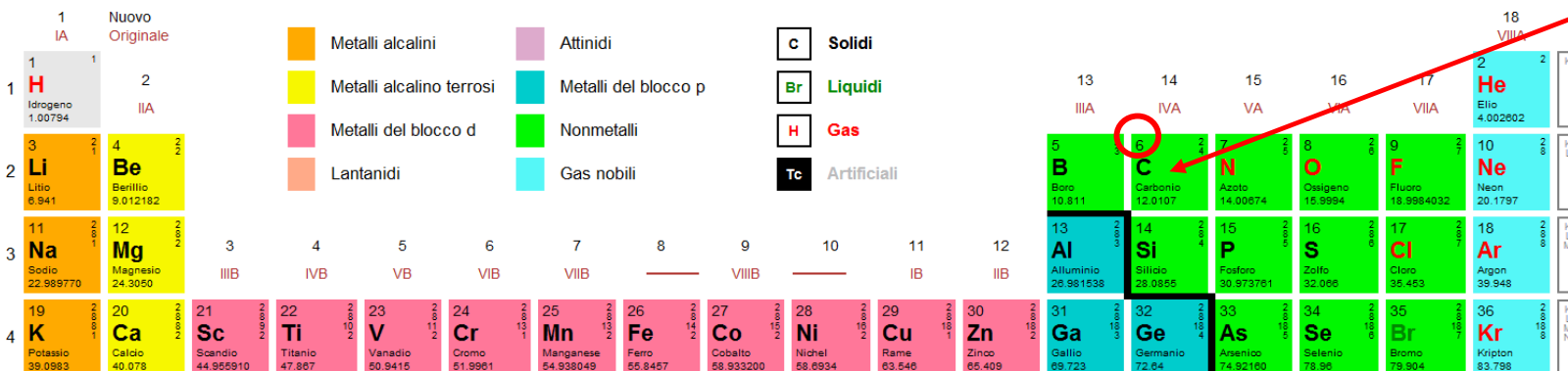


La carta dei nuclidi

Riprendiamo i nostri isotopi del Carbonio: ^{11}C ^{12}C ^{13}C ^{14}C , tutti con numero di protoni $Z=6$ e numero di neutroni $N=5,6,7,8$ (il numero di massa $A=Z+N$ è 11, 12, 13, 14)

Nella tavola periodica gli elementi sono riportati al variare del numero di protoni Z .

Tavola Periodica degli Elementi



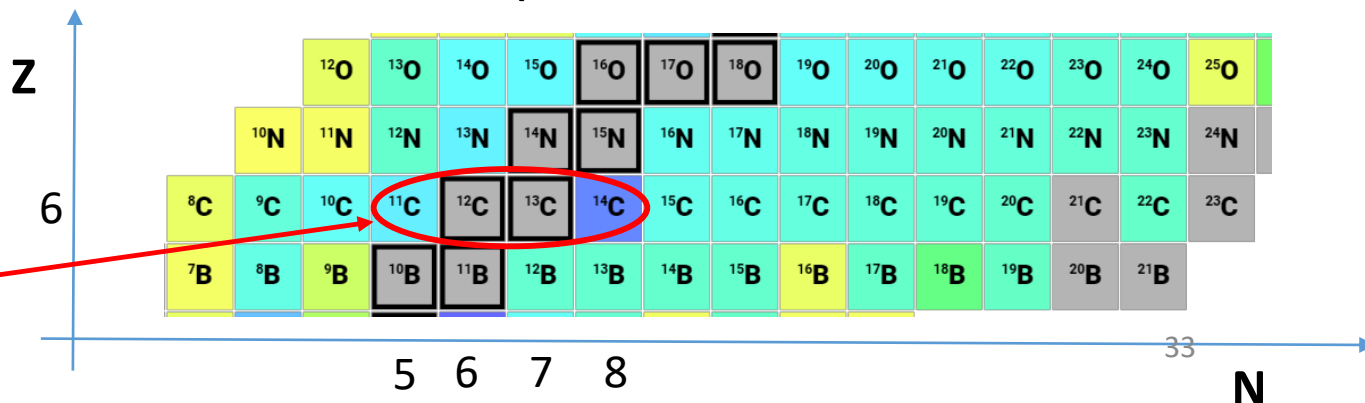
Tutti i nostri isotopi del carbonio finiscono qui

Ma se noi volessimo rappresentare gli isotopi separatamente?

Per questo c'è la carta dei nuclidi

Nella carta dei nuclidi per ogni Z sono riportati tutti gli isotopi, al variare del numero di neutroni N

I nostri isotopi del Carbonio ora si vedono tutti separatamente

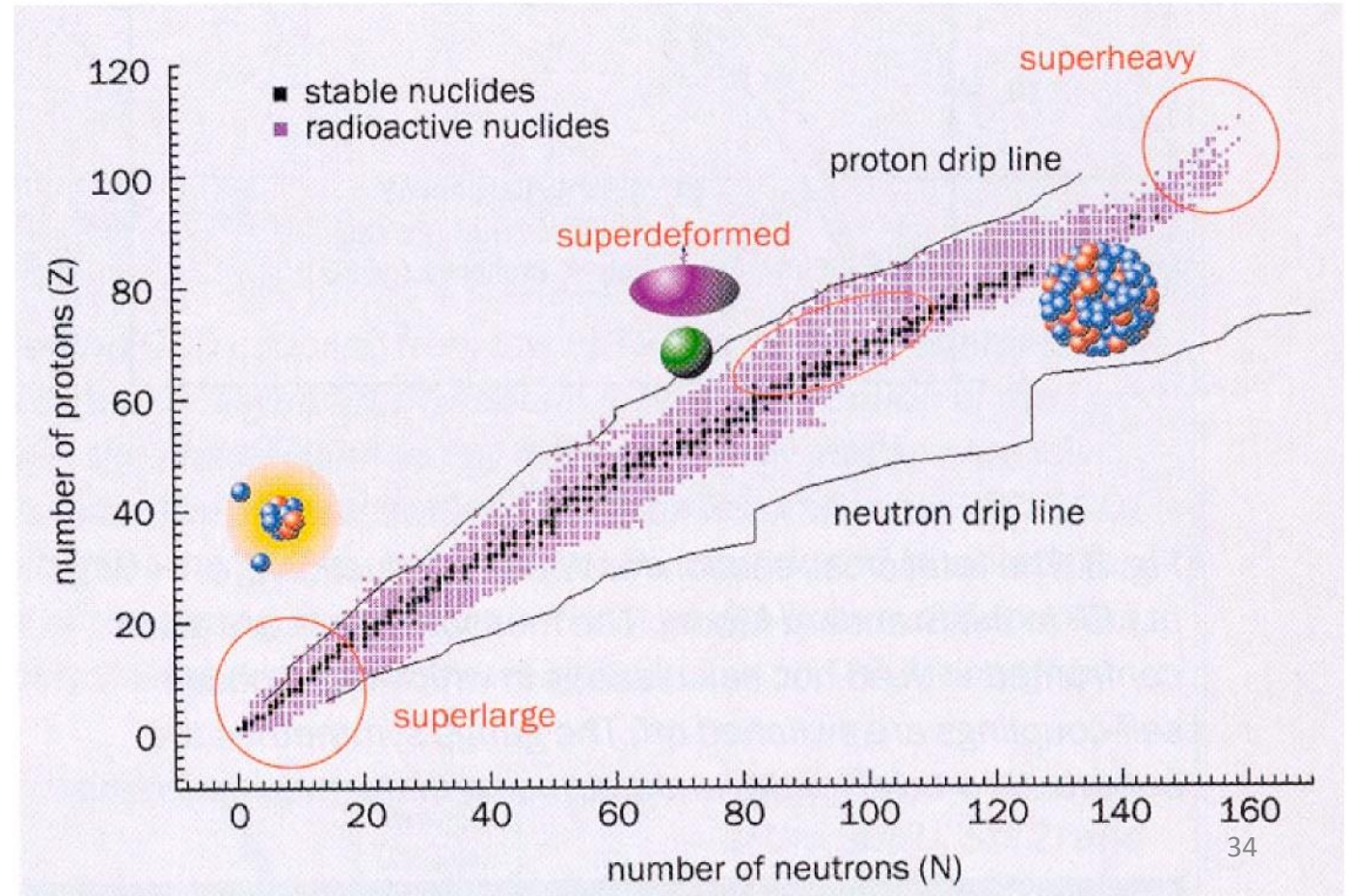


La carta dei nuclidi

In questa carta sono rappresentati tutti i possibili nuclei.

Ogni punto sul piano Z,N rappresenta un nucleo

La carta dei nuclidi completa



La carta dei nuclidi

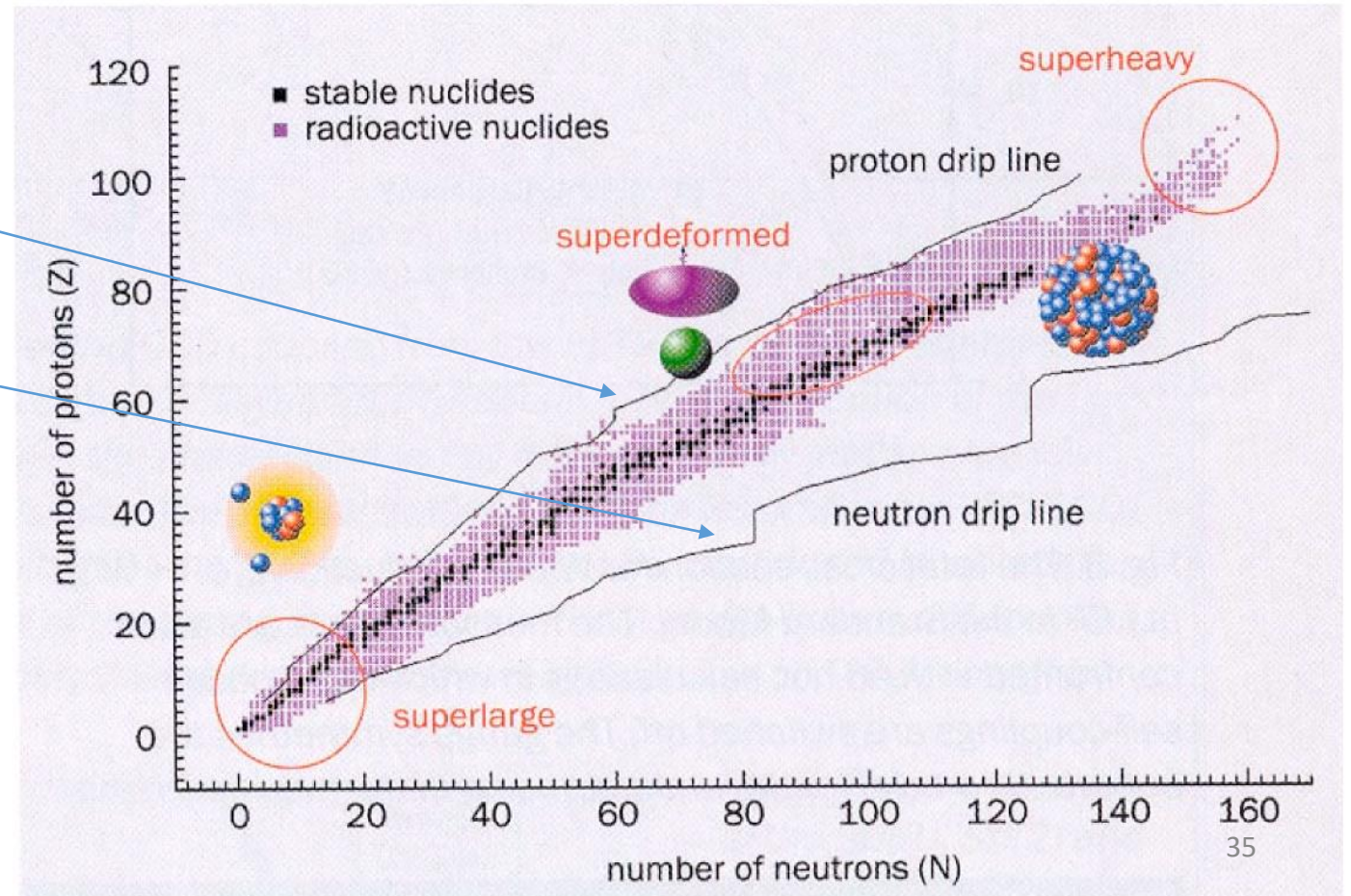
In questa carta sono rappresentati tutti i possibili nuclei.

Ogni punto sul piano Z,N rappresenta un nucleo

Quelli che possono esistere sono compresi fra queste due linee e si pensa che siano circa 6000

Quelli conosciuti (cioè quelli che esistono in natura o che sono stati prodotti artificialmente facendo delle reazioni nucleari) sono circa 3000 (sono i quadratini colorati)

La carta dei nuclidi completa



Isotopi stabili e instabili

- Tutti i nuclei esistono per sempre?

La risposta è: No

Solo i nuclei stabili vivono per sempre.

Per un certo Z (numero di protoni) gli isotopi stabili sono quelli che hanno energia (di legame) più bassa rispetto ai loro vicini cioè sono più legati.

Se ci sono troppi neutroni o troppo pochi neutroni rispetto al valore giusto, il nucleo non è stabile

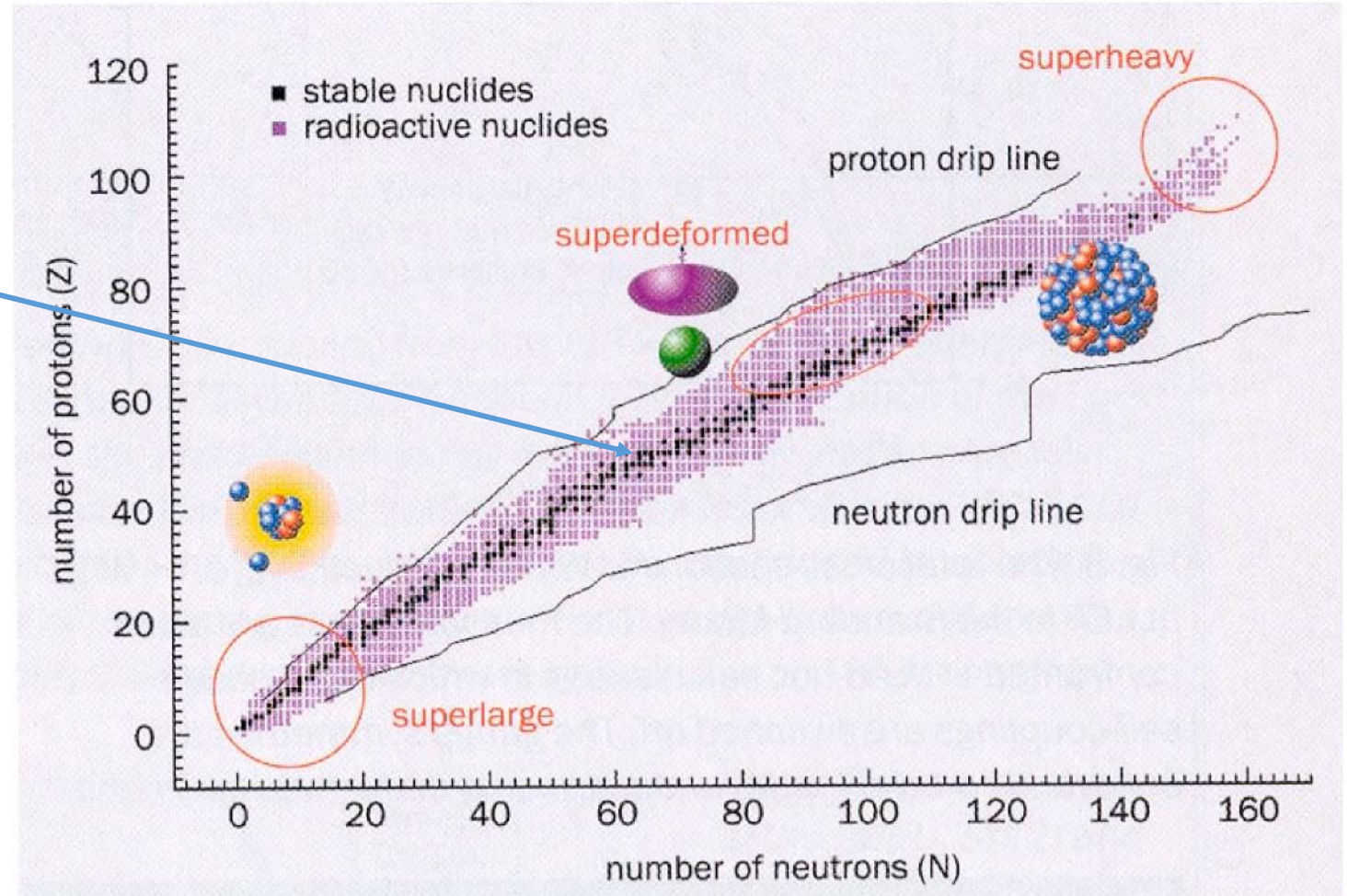
I nuclei non stabili si trasformano fino a diventare nuclei stabili cioè tendono ad andare verso una configurazione di energia più bassa, vale a dire che tendono a diventare più legati.

Nel fare questo danno luogo al fenomeno della radioattività cioè all'emissione di radiazione

Nuclei stabili e instabili

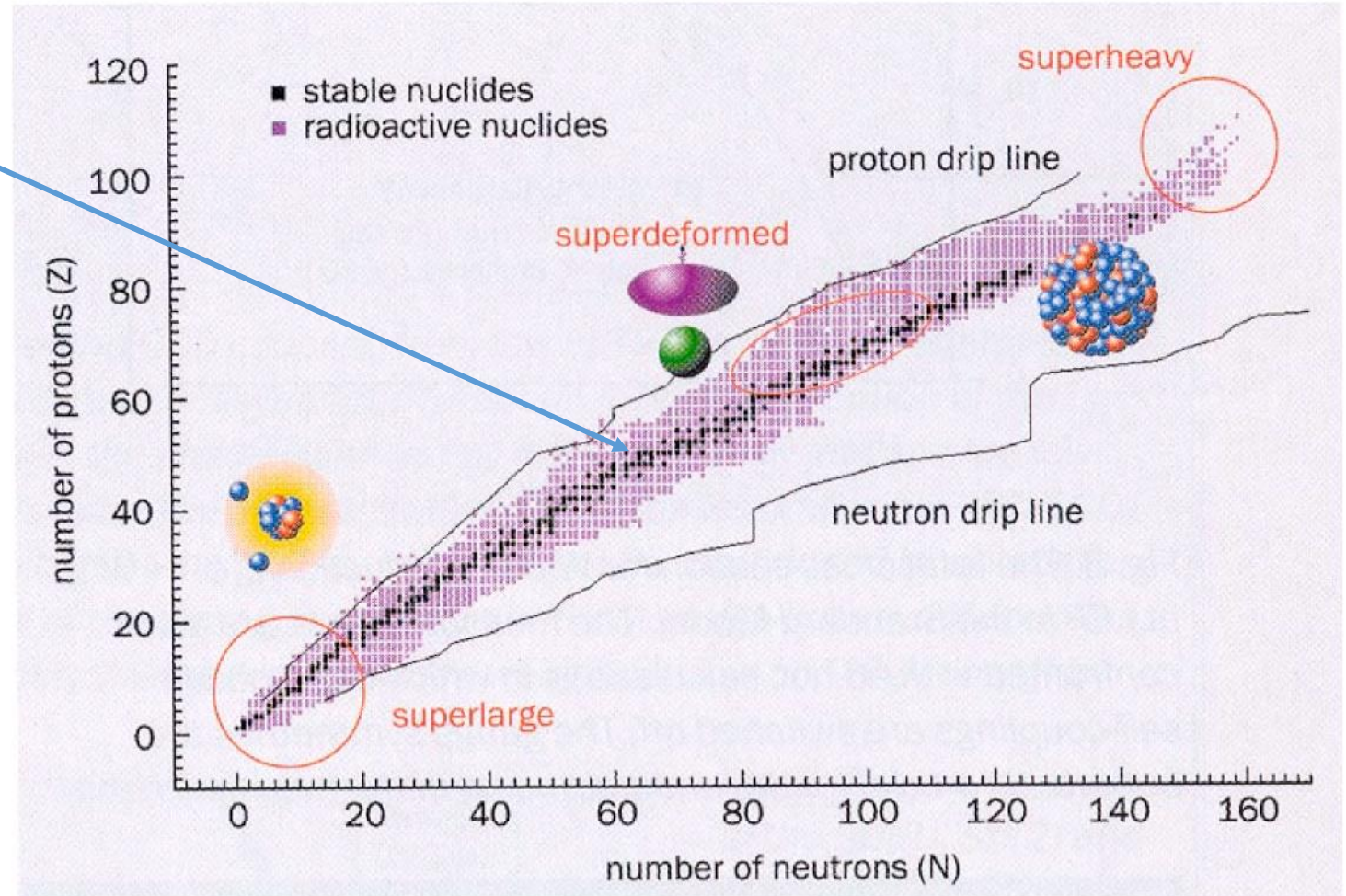
Riprendiamo la carta dei nuclidi

- I nuclei stabili si trovano lungo valle di stabilità (quadratini neri)



Nuclei stabili e instabili sulla carta dei nuclidi

- I nuclei stabili si trovano lungo valle di stabilità
- I nuclei stabili sono circa 300, quindi sono in netta minoranza!
- La vita dei nuclei instabili è tanto più breve quanto più sono lontani dalla valle di stabilità



La radioattività

- Abbiamo detto che **la radioattività è emissione di radiazione che avviene quando un nucleo instabile si trasforma (cioè decade) per andare verso la stabilità**
- **La radioattività può essere naturale o indotta artificialmente dall'uomo**, per esempio creando nuclei instabili con reazioni nucleari nei laboratori di ricerca
- Noi ci occuperemo di quella naturale...
- Quanti tipi di radioattività naturale esistono?

I tipi principali sono 4 e si chiamano

decadimento α

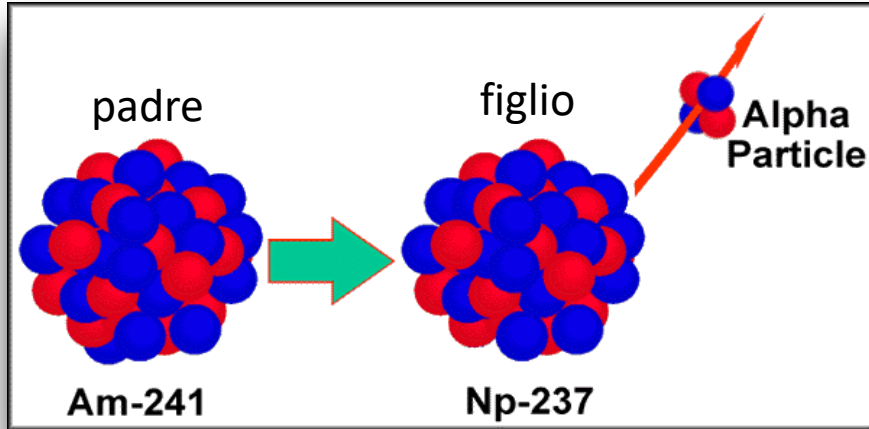
decadimento β

decadimento γ

Fissione spontanea

Quelli che ci serviranno per il gioco sono il decadimento α e β

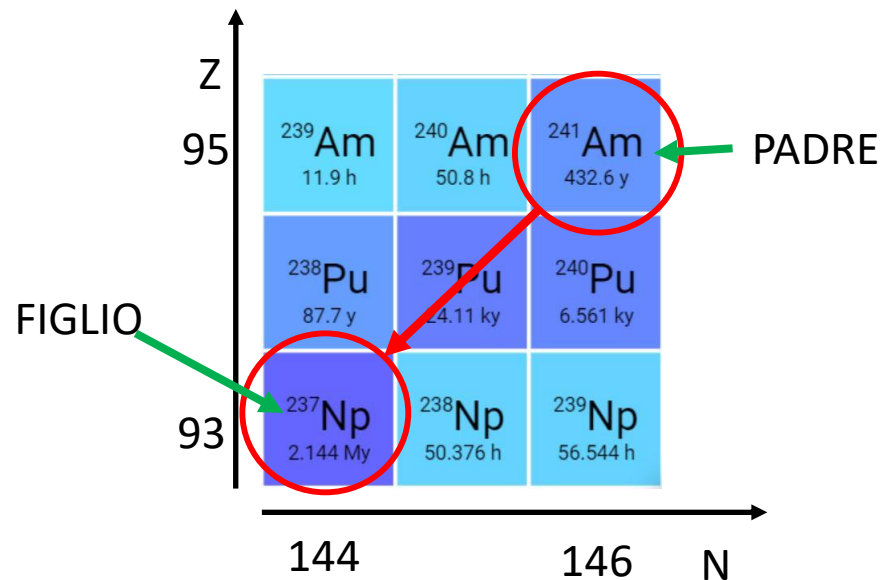
Decadimento α



Il nucleo che decade (il nucleo «padre») **emette una particella α** cioè un nucleo di ${}^4\text{He}$ ($Z=2$, $N=2$ cioè 2 protoni e 2 neutroni)

Il nucleo che ne risulta (il nucleo «figlio») ha **$Z=Z_{\text{padre}} - 2$** , **$N=N_{\text{padre}} - 2$** , **$A=A_{\text{padre}} - 4$**
(A è il numero di massa cioè $A=Z+N$)

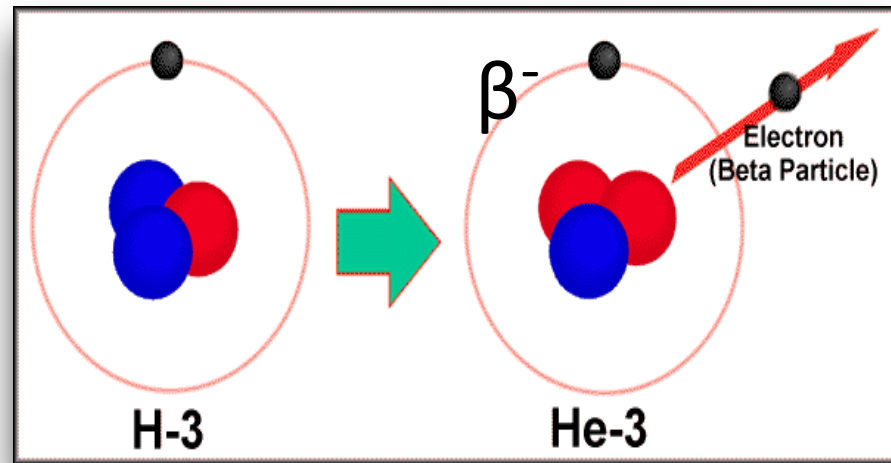
Sulla carta dei nuclidi ci si sposta così:



Decadimento β

Questo decadimento esiste in due forme:

β^- e β^+



Decadimento β

Questo decadimento esiste in due forme: β^- e β^+

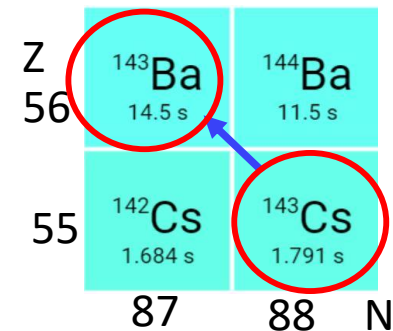
- Nel β^- un neutrone del nucleo si trasforma in un protone con l'emissione di un elettrone (simbolo e^-) e di un antineutrino (una particella che non si vede direttamente)

$$N_{\text{figlio}} = N_{\text{padre}} - 1 \text{ e } Z_{\text{figlio}} = Z_{\text{padre}} + 1$$

il numero di neutroni N diminuisce di 1 e il numero di protoni Z cresce di 1

β^-

Nella carta dei nuclidi ci si sposta così:



Il numero di massa $A=N+Z$ non cambia

Decadimento β

Questo decadimento esiste in due forme: β^- e β^+

- **Nel β^+ un protone del nucleo si trasforma in un neutrone** con l'emissione di un positrone (simbolo e^+ , il positrone sarebbe l'antiparticella dell'elettrone, cioè una particella che se incontra un elettrone si annichila cioè spariscono tutte e 2) e di un neutrino (altra particella che non si vede direttamente)

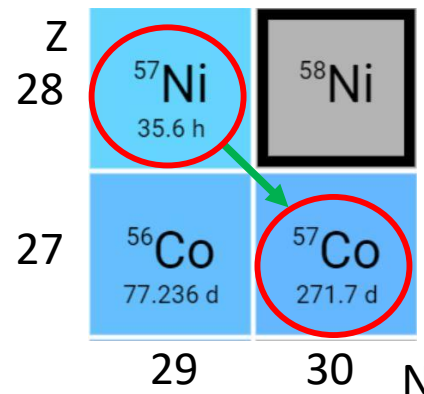
$$N_{\text{figlio}} = N_{\text{padre}} + 1 \text{ e } Z_{\text{figlio}} = Z_{\text{padre}} - 1$$

β^+

Il numero di neutroni N cresce di 1

Il numero di protoni Z diminuisce di 1

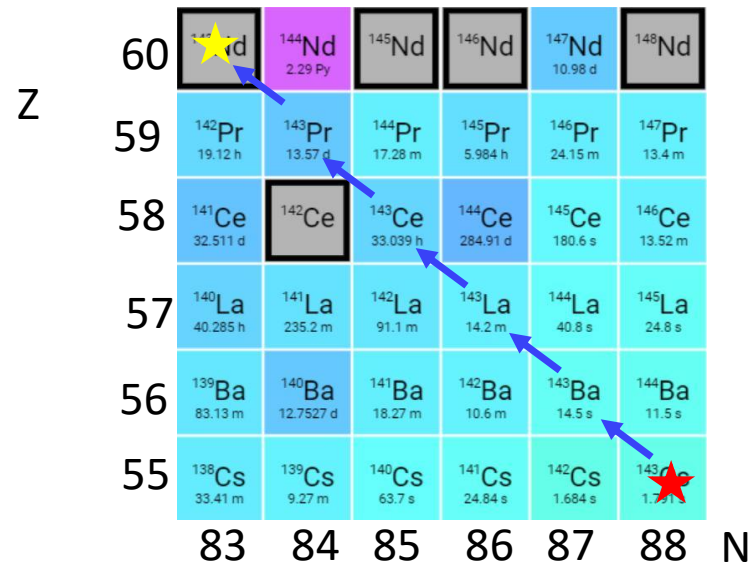
Nella carta dei nuclidi ci si sposta così:



Il numero di massa $A=N+Z$ non cambia

Catene di decadimento

- A volte un solo decadimento non è sufficiente a raggiungere la valle di stabilità
- Si formano allora delle catene di decadimento, cioè successioni di singoli decadimenti, anche di tipo diverso

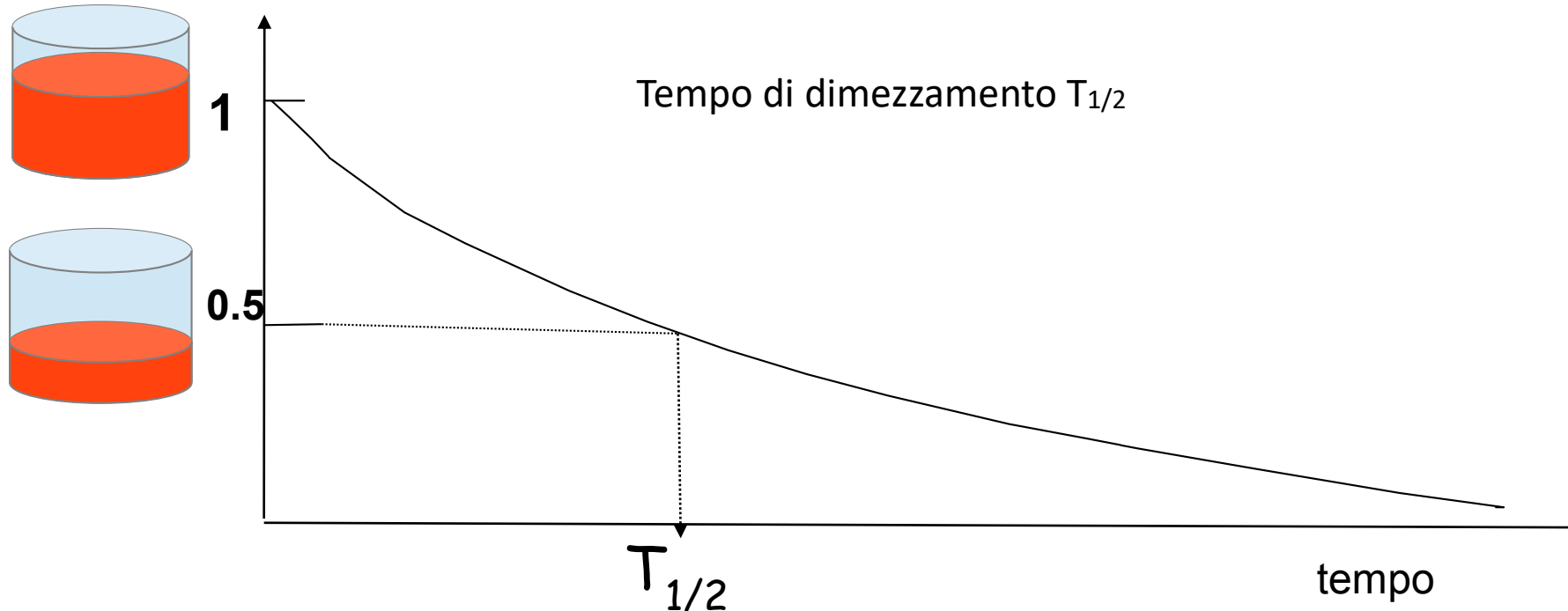


Il tempo di dimezzamento

La radioattività è un **processo probabilistico**, cioè quando abbiamo un nucleo instabile, **non possiamo sapere quando quel particolare nucleo decadrà**.

Se però abbiamo tanti nuclei di quel tipo, **possiamo sapere dopo quanto tempo il loro numero si sarà dimezzato**.

Questo tempo è il **tempo di dimezzamento** e cambia da nucleo a nucleo. Ci sono nuclei con tempo di dimezzamento cortissimo e altri con tempo di dimezzamento di millenni o miliardi di anni



Elemento	$T_{1/2}$
radon-222	3,8 giorni
piombo-210	22 anni
radio-226	1600 anni
carbonio-14	5730 anni
uranio-238	4,56 miliardi di anni

^{18}C 92ms=0.092s

I radionuclidi primordiali

- Alcuni nuclei radioattivi (detti radionuclidi primordiali) hanno una vita media dell'ordine di quella della Terra (5 miliardi di anni) e quindi sono presenti sul nostro pianeta fino dalla sua formazione
- Questi radionuclidi danno origine a lunghe catene di decadimento per raggiungere la valle di stabilità
- Alcune di queste catene hanno come capostipiti (cioè come nuclei di partenza) l'Uranio 238, l'Uranio 235, il Torio 232 e il Nettunio 237.
- Il Nettunio 237 è un caso particolare, perché ha una vita media molto più breve degli altri (solo 2 milioni di anni circa) e quindi della sua catena oggi restano solo i residui