

Geologia Isotopica ed Ambiente

La Geochimica Isotopica è principalmente usata per l'indagine dell'origine ed evoluzione della Terra e per fornire una scala dei tempi per i processi e gli eventi geologici.

Geologia Isotopica “classica”

- Datazioni di processi geologici
- Petrologia
- **Evoluzione del pianeta Terra e sua differenziazione (Nucleo-mantello-crosta)**
- Evoluzione del mantello terrestre (separazione crosta ed effetto della geodinamica sul chimismo del mantello)
- Evoluzione di sistemi magmatici (e.g. tempi di residenza, sistemi di alimentazione)

Applicazioni di tipo “ambientale” (spesso associate ad altre determinazioni)

Datazioni - Paleoclimatologia (aumento CO₂)

Datazioni – Giacimenti minerali

Oceanografia (acidificazione degli oceani)

Inquinamento (sia atmosferico che del cibo)

Contaminazione aree minerarie

Isotopi antropogenici e contaminazione da impianti termo-nucleari (fallout-groundwaters, food etc)

Archeologia/Archeometallurgia

Certificazione/tracciabilità Agro-alimentare

Studi forensi

Salute

Strutturazione del corso:

- Concetti generali: definizione di isotopo, leggi di decadimento variazione nel tempo di padre e figlio.
- Descrizione delle sistematiche isotopiche principali: Sr, Nd, Pb, U-series, isotopi antropogenici: composizione isotopica dei principali reservoir terrestri (acque, crosta continentale e oceanica vs. mantello etc.) e cenni su metodi di datazione usati in studi ambientali.
- Applicazione isotopi Sr, Nd e Pb a diverse problematiche ambientali (oceanografia, inquinamento atmosferico e/o da metalli pesanti etc), forensi etc.
- Applicazione isotopi della serie dell'U e antropogenici a problematiche ambientali.
- Escursione assieme ai corsi di Mineralogia Ambientale e geochimica dei fluidi.

Tavola Periodica degli Elementi

1 1 H Idrogeno 1.00794	2 2 He Elio 4.002602											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
3 2 Li Litio 6.941	4 2 Be Berillio 9.012182											5 3 B Boro 10.811	6 3 C Carbonio 12.0107	7 3 N Azoto 14.00674	8 3 O Ossigeno 15.9994	9 3 F Fluoro 18.9984032	10 2 2 Ne Neon 20.1797
11 3 Na Sodio 22.989770	12 3 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 3 Al Alluminio 26.981538	14 3 Si Silicio 28.0855	15 3 P Fosforo 30.973761	16 3 S Zolfo 32.065	17 3 Cl Cloro 35.453	18 3 Ar Argon 39.948
19 4 K Potassio 39.0983	20 4 Ca Calcio 40.078	21 4 Sc Scandio 44.955910	22 4 Ti Titanio 47.867	23 4 V Vanadio 50.9415	24 4 Cr Cromo 51.9961	25 4 Mn Manganese 54.938045	26 4 Fe Ferro 55.8457	27 4 Co Cobalto 58.933200	28 4 Ni Nichel 58.6934	29 4 Cu Rame 63.546	30 4 Zn Zinco 65.409	31 4 Ga Gallio 69.723	32 4 Ge Germanio 72.84	33 4 As Arsenico 74.92160	34 4 Se Selenio 78.96	35 4 Br Bromo 79.904	36 4 Kr Krypton 83.798
37 5 Rb Rubidio 85.4678	38 5 Sr Stronzio 87.62	39 5 Y Ittrio 88.90585	40 5 Zr Zirconio 91.224	41 5 Nb Niobio 92.90638	42 5 Mo Molibdeno 95.94	43 5 Tc Technezio (98)	44 5 Ru Rutenio 101.07	45 5 Rh Rodio 102.90550	46 5 Pd Palladio 106.42	47 5 Ag Argento 107.8682	48 5 Cd Cadmio 112.411	49 5 In Indio 114.818	50 5 Sn Stagno 118.710	51 5 Sb Antimonio 121.760	52 5 Te Tellurio 127.60	53 5 I Iodio 126.90447	54 5 Xe Xeno 131.293
55 6 Cs Cesio 132.90545	56 6 Ba Bario 137.327	57 to 71 6 Lantanidi	72 6 Hf Hafnio 178.49	73 6 Ta Tantalio 180.9479	74 6 W Tungsteno 183.84	75 6 Re Renio 186.207	76 6 Os Osmio 190.23	77 6 Ir Iridio 192.217	78 6 Pt Platino 195.078	79 6 Au Oro 196.96655	80 6 Hg Mercurio 200.59	81 6 Tl Tallio 204.3833	82 6 Pb Piombo 207.2	83 6 Bi Bismuto 208.98038	84 6 Po Polonio (209)	85 6 At Astatio (210)	86 6 Rn Radon (222)
87 7 Fr Francio (223)	88 7 Ra Radio (226)	89 to 103 7 Attinidi	104 7 Rf Rutherfordio (261)	105 7 Db Dubnio (262)	106 7 Sg Seaborgio (266)	107 7 Bh Bohrio (264)	108 7 Hs Hassio (268)	109 7 Mt Meitnerio (268)	110 7 Ds Darmstadtio (271)	111 7 Rg Roentgenio (272)	112 7 Uub Ununbio (285)	113 7 Uut Ununtrio (284)	114 7 Uuq Ununquadio (289)	115 7 Uup Ununpentio (288)	116 7 Uuh Ununhexio (292)	117 7 Uus Ununseptium	118 7 Uuo Ununoctium

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

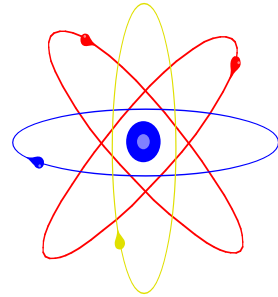
Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

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 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 Disprozio 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)

Particelle nucleari



**Atomo: consiste di protoni,
neutroni & elettroni**



Protone, massa = 1.007277 amu



Neutrone, massa = 1.008665 amu



Elettrone, massa = 0.000549 amu

Protoni & Neutroni organizzati in nuclei ...

Nel nucleo di ciascun elemento chimico è concentrata gran parte della massa atomica raggiungendo una densità pari a 10^4 gr/cm³ ed una dimensione pari a 10^{-8} cm (1 Å).

Le particelle che compongono il nucleo prendono il nome di **NUCLEONI** e possono essere neutri (**neutroni = N**) o avere una carica positiva (**protoni = Z**).

Nuclei & elettroni organizzati in atomi ...

La natura chimica degli *atomi* (ed il loro nome) dipende dal numero di protoni in essi contenuti.

È possibile che *atomi* dello stesso elemento siano caratterizzati da un **numero di neutroni** variabile, e pertanto da diverso numero di massa.

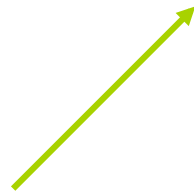
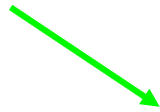
Gli atomi che possiedono uno stesso numero di protoni (**Z**) ma diverso numero di neutroni (N) vengono definiti **ISOTOPI**.

Esempio: lo Stronzio (Z=38) (Sr) possiede quattro isotopi

^{88}Sr , ^{87}Sr , ^{86}Sr , ^{84}Sr .

Nuclidi

A = numero di massa (# protoni + neutroni nel nucleo)



Z = numero atomico (# di protoni nel nucleo)

La massa dei nuclidi è troppo piccola per essere definita in g viene pertanto utilizzata la unità' di massa atomica (a.m.u. in Inglese "atomic mass unit") la quale è pari alla dodicesima parte della massa del nuclide del ${}^{12}\text{C}$

Table of Nuclides

• Cross section plotter

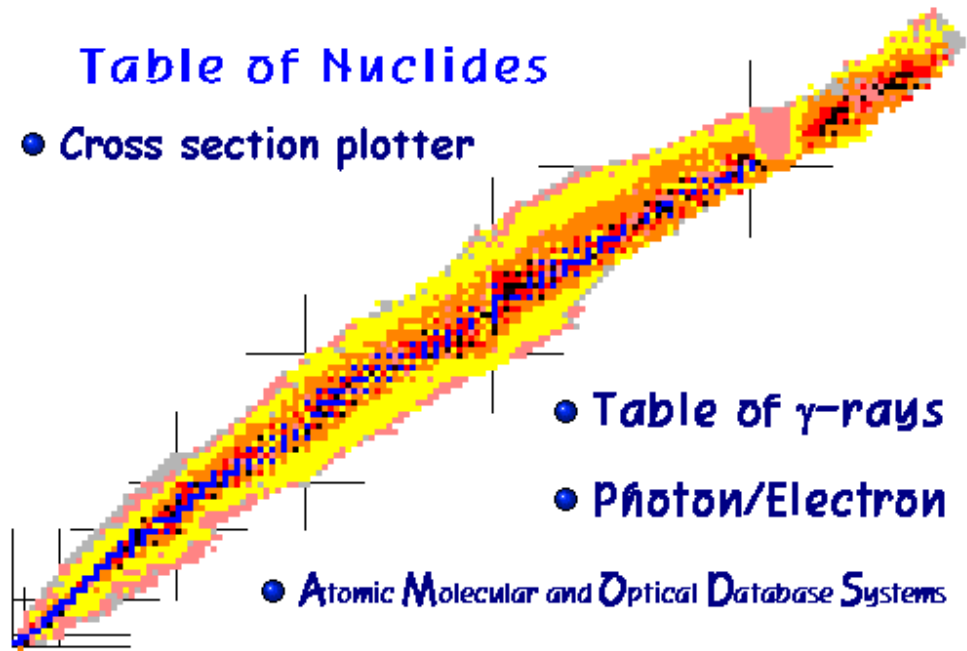


Tavola Periodica degli Elementi

1 IA		2 IIA		3-10 IIB-VIIB										11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA																																																																																																
1 H Idrogeno 1.00784	2 He Elio 4.002602	3 Li Litio 6.941	4 Be Berillio 9.012182	5 B Boro 10.811	6 C Carbonio 12.0107	7 N Azoto 14.00643	8 O Ossigeno 15.999	9 F Fluoro 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797	11 Na Sodio 22.98976928	12 Mg Magnesio 24.3050	13 Al Alluminio 26.9815386	14 Si Silicio 28.0855	15 P Fosforo 30.973762	16 S Zolfo 32.06	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 47.887	23 V Vanadio 50.9415	24 Cr Cromo 51.9961	25 Mn Manganese 54.938044	26 Fe Ferro 55.845	27 Co Cobalto 58.933200	28 Ni Nichel 58.6934	29 Cu Rame 63.546	30 Zn Zinco 65.408	31 Ga Gallio 69.723	32 Ge Germanio 72.64	33 As Arsenico 74.9216	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Kripton 83.796	37 Rb Rubiidio 85.4678	38 Sr Stronzio 87.62	39 Y Ittrio 88.90584	40 Zr Zirconio 91.224	41 Nb Niobio 92.90638	42 Mo Molibdeno 95.94	43 Tc Technetio (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 Stibio 121.760	52 Te Tellurio 127.60	53 I Iodio 126.90545	54 Xe Xenone 131.29	55 Cs Cesio 132.90545	56 Ba Bario 137.327	57 La Lantanio 138.90547	58 Ce Cerio 140.12	59 Pr Praseodimio 140.90766	60 Nd Neodimio 144.24	61 Pm Promio (145)	62 Sm Samario 150.36	63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolinio 157.25	65 Tb Terbio 158.92534	66 Dy Diosimio 162.500	67 Ho Holmio 164.93032	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Tulio 168.93421	70 Yb Istesso 173.04	71 Lu Lutetio 174.967	72 Hf Hafnio 178.49	73 Ta Tungsteno 180.9473	74 W Wolframio 183.84	75 Re Reniio 186.207	76 Os Osmio 190.23	77 Ir Iridio 192.222	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 208.9804	84 Po Polonio (209)	85 At Astatio (210)	86 Rn Radon (222)	87 Fr Francio (223)	88 Ra Raffaio (226)	89 Ac Attinio (227)	90 Th Torio 232.0381	91 Pa Protattinio 231.03688	92 U Uranio 238.02891	93 Np Netunio (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 Lawrencio (262)	104 Rf Rutherfordio (261)	105 Db Dubnio (262)	106 Sg Seaborgio (266)	107 Bh Bohrio (264)	108 Hs Hassium (265)	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 Ununsextio (288)	117 Uus Ununseptio (289)	118 Uuo Ununoctio (289)

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più comuni.

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

- Half life
- Stable
- Very short
- > 100,000 yr
- > 10 yr
- > 100 days
- > 10 days
- > 1 day
- > 1 hr
- > 1 min.

Z

91Pd	92Pd	93Pd	94Pd	95Pd	96Pd	97Pd	98Pd	99Pd	100Pd	101Pd	102Pd	103Pd	104Pd	105Pd	106Pd	107Pd	108Pd	109Pd	110Pd	111Pd	112Pd	113Pd	114Pd	115Pd	116Pd	117Pd	118Pd	119Pd	120Pd	121Pd	122Pd	123Pd	
89Rh	90Rh	91Rh	92Rh	93Rh	94Rh	95Rh	96Rh	97Rh	98Rh	99Rh	100Rh	101Rh	102Rh	103Rh	104Rh	105Rh	106Rh	107Rh	108Rh	109Rh	110Rh	111Rh	112Rh	113Rh	114Rh	115Rh	116Rh	117Rh	118Rh	119Rh	120Rh	121Rh	122Rh
87Ru	88Ru	89Ru	90Ru	91Ru	92Ru	93Ru	94Ru	95Ru	96Ru	97Ru	98Ru	99Ru	100Ru	101Ru	102Ru	103Ru	104Ru	105Ru	106Ru	107Ru	108Ru	109Ru	110Ru	111Ru	112Ru	113Ru	114Ru	115Ru	116Ru	117Ru	118Ru	119Ru	120Ru
86Tc	87Tc	88Tc	89Tc	90Tc	91Tc	92Tc	93Tc	94Tc	95Tc	96Tc	97Tc	98Tc	99Tc	100Tc	101Tc	102Tc	103Tc	104Tc	105Tc	106Tc	107Tc	108Tc	109Tc	110Tc	111Tc	112Tc	113Tc	114Tc	115Tc	116Tc	117Tc	118Tc	
84Mo	85Mo	86Mo	87Mo	88Mo	89Mo	90Mo	91Mo	92Mo	93Mo	94Mo	95Mo	96Mo	97Mo	98Mo	99Mo	100Mo	101Mo	102Mo	103Mo	104Mo	105Mo	106Mo	107Mo	108Mo	109Mo	110Mo	111Mo	112Mo	113Mo	114Mo	115Mo		
81Nb	82Nb	83Nb	84Nb	85Nb	86Nb	87Nb	88Nb	89Nb	90Nb	91Nb	92Nb	93Nb	94Nb	95Nb	96Nb	97Nb	98Nb	99Nb	100Nb	101Nb	102Nb	103Nb	104Nb	105Nb	106Nb	107Nb	108Nb	109Nb	110Nb	111Nb	112Nb	113Nb	
80Zr	81Zr	82Zr	83Zr	84Zr	85Zr	86Zr	87Zr	88Zr	89Zr	90Zr	91Zr	92Zr	93Zr	94Zr	95Zr	96Zr	97Zr	98Zr	99Zr	100Zr	101Zr	102Zr	103Zr	104Zr	105Zr	106Zr	107Zr	108Zr	109Zr	110Zr	111Zr		
77Y	78Y	79Y	80Y	81Y	82Y	83Y	84Y	85Y	86Y	87Y	88Y	89Y	90Y	91Y	92Y	93Y	94Y	95Y	96Y	97Y	98Y	99Y	100Y	101Y	102Y	103Y	104Y	105Y	106Y	107Y	108Y		
73Sr	74Sr	75Sr	76Sr	77Sr	78Sr	79Sr	80Sr	81Sr	82Sr	83Sr	84Sr	85Sr	86Sr	87Sr	88Sr	89Sr	90Sr	91Sr	92Sr	93Sr	94Sr	95Sr	96Sr	97Sr	98Sr	99Sr	100Sr	101Sr	102Sr	103Sr	104Sr	105Sr	
72Rb	73Rb	74Rb	75Rb	76Rb	77Rb	78Rb	79Rb	80Rb	81Rb	82Rb	83Rb	84Rb	85Rb	86Rb	87Rb	88Rb	89Rb	90Rb	91Rb	92Rb	93Rb	94Rb	95Rb	96Rb	97Rb	98Rb	99Rb	100Rb	101Rb	102Rb			
69Kr	70Kr	71Kr	72Kr	73Kr	74Kr	75Kr	76Kr	77Kr	78Kr	79Kr	80Kr	81Kr	82Kr	83Kr	84Kr	85Kr	86Kr	87Kr	88Kr	89Kr	90Kr	91Kr	92Kr	93Kr	94Kr	95Kr	96Kr	97Kr	98Kr	99Kr	100Kr		
68Br	69Br	70Br	71Br	72Br	73Br	74Br	75Br	76Br	77Br	78Br	79Br	80Br	81Br	82Br	83Br	84Br	85Br	86Br	87Br	88Br	89Br	90Br	91Br	92Br	93Br	94Br	95Br	96Br	97Br				
65Se	66Se	67Se	68Se	69Se	70Se	71Se	72Se	73Se	74Se	75Se	76Se	77Se	78Se	79Se	80Se	81Se	82Se	83Se	84Se	85Se	86Se	87Se	88Se	89Se	90Se	91Se	92Se	93Se	94Se				
60As	61As	62As	63As	64As	65As	66As	67As	68As	69As	70As	71As	72As	73As	74As	75As	76As	77As	78As	79As	80As	81As	82As	83As	84As	85As	86As	87As	88As	89As	90As	91As	92As	
58Ge	59Ge	60Ge	61Ge	62Ge	63Ge	64Ge	65Ge	66Ge	67Ge	68Ge	69Ge	70Ge	71Ge	72Ge	73Ge	74Ge	75Ge	76Ge	77Ge	78Ge	79Ge	80Ge	81Ge	82Ge	83Ge	84Ge	85Ge	86Ge	87Ge	88Ge	89Ge		

N

Carta dei nuclidi...

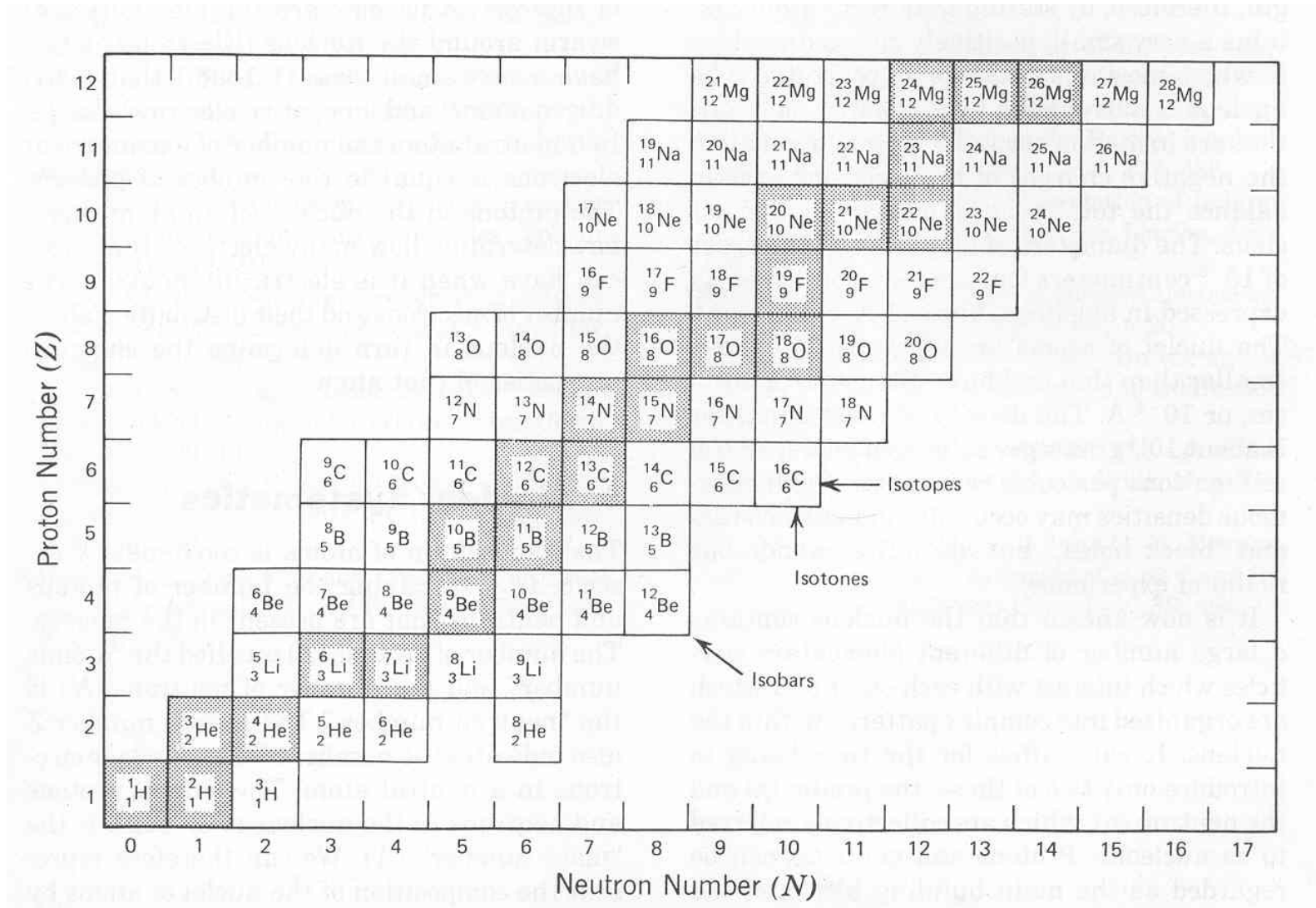


Fig. 13.1. Carta parziale dei nuclidi con mostrati gli atomi stabili (in grigio) e gli atomi instabili (in bianco). Sono inoltre mostrati i nuclidi isotopi, isotoni ed isobari.

da: G. Faure (1987) *Principles of Isotope Geology*. J. Wiley & Sons

Neutroni (N)/Protoni (Z) nel nucleo

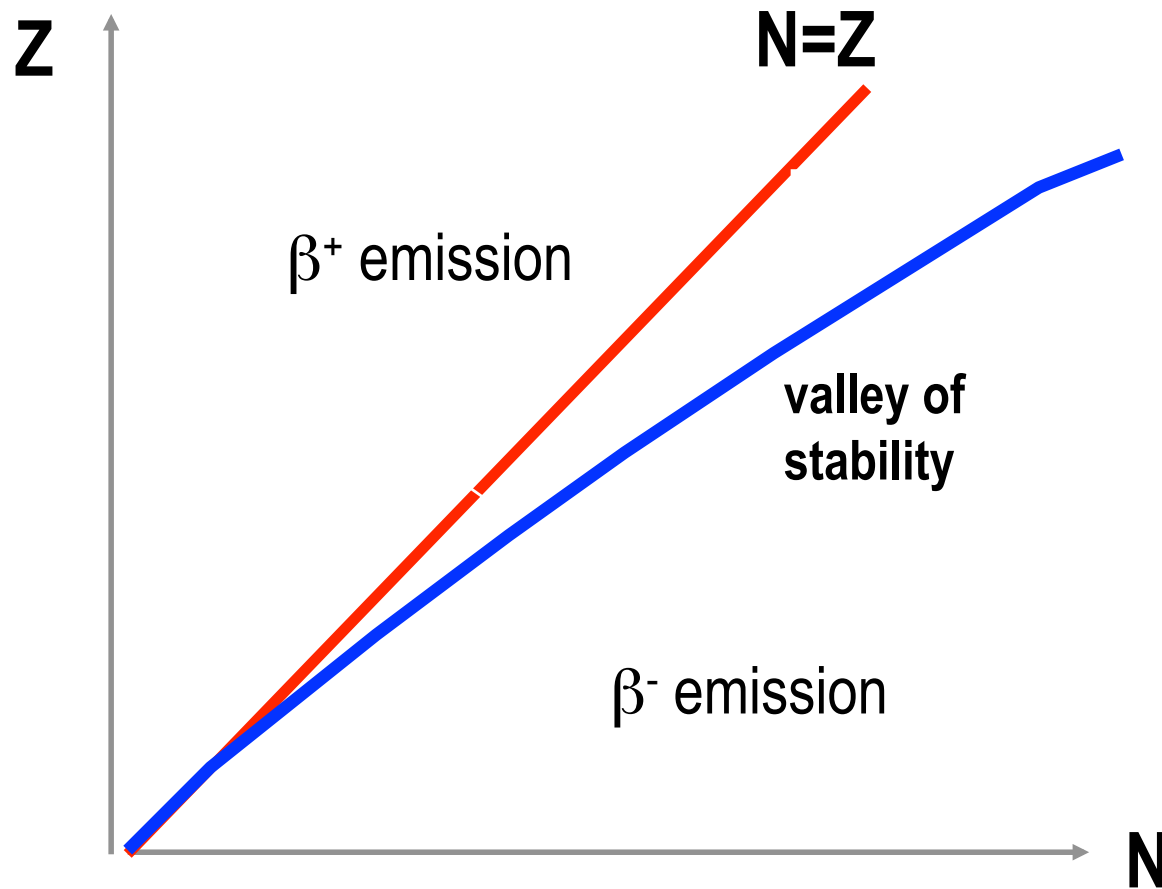
Per gli elementi leggeri (i.e. $Z < 20$), $N/Z \sim 1$

Isotopo	Z	A	N
^{12}C	6	12	6
^{40}Ca	20	40	20
^{112}Cd	46	112	66
^{238}U	92	238	136

Per elementi pesanti (i.e. $Z > 20$), $N/Z \sim 1.5$

Rapporti N/Z nel nucleo

Carta dei nuclidi



Più neutroni sono necessari per la stabilità nucleare degli elementi pesanti.

Gli Isotopi si dividono in:

- Stabili: e.g. ^{88}Sr , ^{144}Nd , ^{204}Pb
- Radioattivi: e.g. ^{87}Rb , ^{147}Sm , ^{238}U , ^{232}Th
- Radiogenici Stabili: e.g. ^{87}Sr , ^{143}Nd , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb
- Radiogenici e Radioattivi: e.g. ^{230}Th , ^{226}Ra (Catene di decadimento serie dell'Uranio)
- Antropogenici: ^{239}Pu (6.5kyr), ^{240}Pu (24.1kyr), ^{241}Pu (14.4yr), ^{236}U (23Ma), ^{137}Cs (30yrs), ^{131}I (8 days), ^{90}Sr (26yrs) + Uranio impoverito → derivanti da test nucleari (bombe), e centrali nucleari impianti di riprocessamento, impianti di produzione di armi nucleari

Noi lavoreremo con RAPPORTI ISOTOPICI

E' fondamentale aver presente quale rapporto stiamo considerando, per capirne l'evoluzione ed il comportamento dei vari contesti geologici

- rapporti di due isotopi di uno stesso elemento uno radiogenico ed uno no:
e.g. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{182}\text{W}/^{183}\text{W}$, $^{26}\text{Mg}/^{24}\text{Mg}$
- rapporti di due isotopi di elementi diversi:
 - es. 1 isotopo "padre" / isotopo stabile del nuclide figlio: e.g. $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$, $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$
 - es. 2 figlio (radiogenico) / padre (radioattivo): e.g. $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
 - es. 3: due isotopi radioattivi e radiogenici in catene di decadimento: e.g. $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$, $(^{226}\text{Ra}/^{230}\text{Th})$, le parentesi indicano che stiamo trattando attivita' (\rightarrow ritmo di decadimento)

- rapporti tra due isotopi dello stesso elemento entrambi stabili:
e.g. $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ etc.

Per gli isotopi stabili si usa di solito la notazione δ o ϵ (come δ ma $\times 10^4$)

The δ Notation

Variations in stable isotope ratios are typically in the parts per thousand range and hence are generally reported as *permil variations*, δ , from some standard. Oxygen isotope fractionations are generally reported in permil deviations from SMOW (standard mean ocean water):

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sam}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} \right] \times 10^3 \quad 27.1$$

Anche per isotopi non stabili spesso si usa una notazione simile normalizzata ad un valore noto (i.e. chondriti, bulk Earth)

$$\epsilon_{\text{Nd}} = \left[\frac{\left(^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd} \right)_{\text{sample}} - \left(^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd} \right)_{\text{CHUR}}}{\left(^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd} \right)_{\text{CHUR}}} \right] \times 10000$$

Noi lavoreremo con RAPPORTI ISOTOPICI

Un rapporto isotopico è definito come

$^x\text{N} / ^y\text{N}$ dove N è il numero di atomi

Oppure

$\text{mol } ^x\text{N} / \text{mol } ^y\text{N}$

dove mol sono le moli (in ogni mole c'è un quantità di atomi pari a N_A = il numero di Avogadro = 6.022×10^{23})

Un rapporto isotopico NON PUO' essere espresso dividendo le concentrazioni

Le concentrazioni si usano per esprimere le abbondanze relative dei vari elementi nell rocce

- wt. % = 10^{-2}g/g per gli elementi maggiori (e.g. SiO_2 , MgO , Na_2O , K_2O , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , P_2O_5)
- altre volte in parti per milione (ppm) per elementi in traccia
 - $\rightarrow 1\text{ppm} = 10^{-6}\text{g/g}$ (o $\mu\text{g/g}$ o mg/kg)

Perche' variano I rapporti isotopici?

Concetto di frazionamento:

- Per frazionamento elementare si intende un diverso comportamento di due elementi in un determinato processo (e.g. Rb e Sr durante la cristallizzazione frazionata).
- Per frazionamento isotopico si intende la stessa cosa ma tra due isotopi dello stesso elemento.

In entrambi I casi il frazionamento produce una variazione dei rapporti (elementari o isotopici).

1. Frazionamento **Mass dependent**: il processo di frazionamento e' proporzionale alla differenza di massa. E.g. il frazionamento su $^{97}\text{Mo}/^{95}\text{Mo}$ sara' minore (in proporzione) di quello su $^{98}\text{Mo}/^{95}\text{Mo}$.
2. Frazionamento **non dipendente dalla massa** (e.g. decadimento radioattivo): e.g. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ varia nel tempo in funzione del decadimento di ^{87}Rb a ^{87}Sr

Lo studio degli isotopi stabili e quello degli isotopi radioattivi/radiogenici sono abbastanza diversi concettualmente.

Nel secondo caso i rapporti isotopici (e.g. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) dipendono in linea di massima da 2 fattori

- Frazionamento elementare padre-figlio (Rb/Sr), quindi tra due elementi diversi a comportamento geochimico diverso
- Tempo trascorso da quando il frazionamento e' avvenuto
- I rapporti isotopici che misuriamo oggi nei vari reservoir sono la risultante di quello che viene chiamato il rapporto "time-integrated" tra padre e figlio.

Il grande vantaggio di questi isotopi è che la maggior parte dei processi geologici (e non) NON FRAZIONA i due isotopi (radiogenico/stabile) o se lo fa questo si può correggere → ottimi traccianti!

Nel primo caso il frazionamento e' tra isotopi stabili dello stesso elemento, quindi:

- processi capaci di frazionare tra isotopi dello stesso elemento in base alle differenze di massa (e.g. evaporazione, adsorbimento): di solito sono processi che avvengono a basse temperature e quindi in ambiente superficiale
- non e' influenzato dal tempo: un rapporto tra isotopi stabili una volta frazionati non cambia.

In questo corso ci focalizzeremo principalmente sugli isotopi radiogenici e sulle loro applicazioni ad indagine di tipo ambientale.