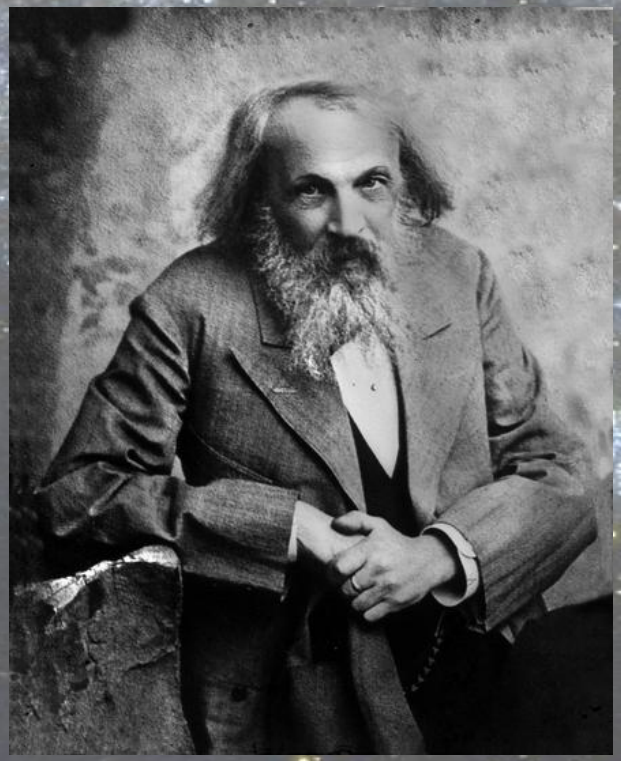
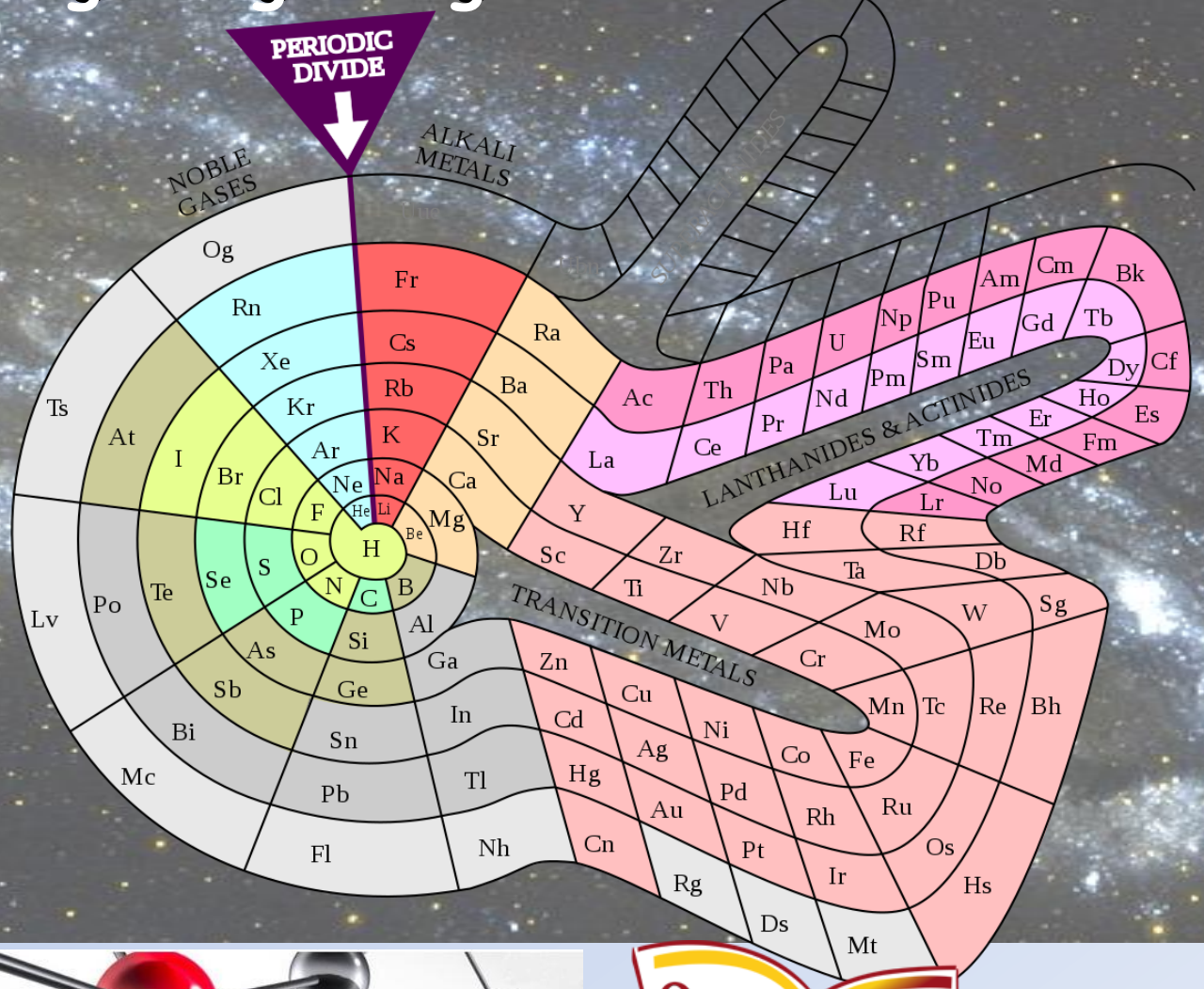
# Il sistema periodico degli elementi
# Dal big bang all'oganesson





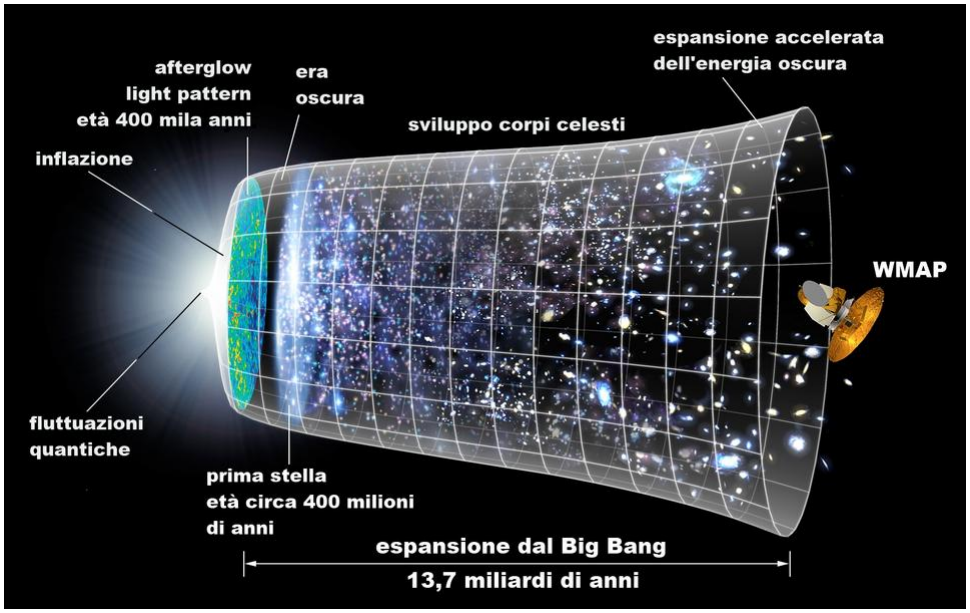

M. Moret


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO BICOCCA
DIPARTIMENTO DI SCIENZA DEI MATERIALI


Biblio EC@ di AENEO
Università degli Studi di Milano-Bicocca

I. Moroni

L'inizio dell'avventura: 13,8 miliardi di anni fa il "Big Bang "



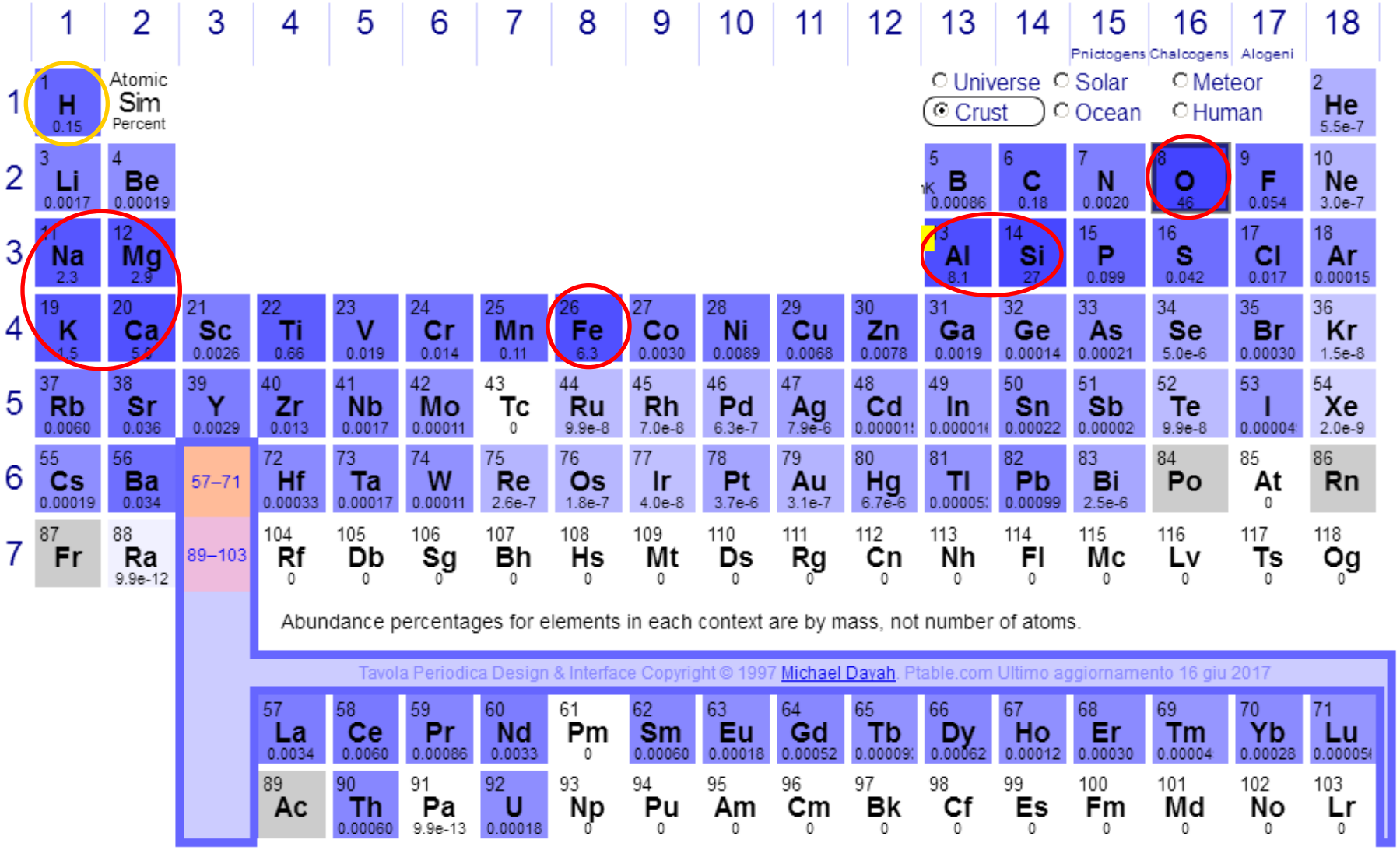

NASA/WMAP
Science Team

Pochi minuti dopo: si formano i primi nuclei di deuterio e di elio da neutroni e protoni; la maggior parte dei protoni non si combina (nuclei di idrogeno)

ca. 380000 anni dopo: i nuclei si combinano con gli elettroni formando principalmente atomi di idrogeno (circa 75% in massa) e di elio (circa 25% in massa)

gli altri elementi provengono dalle stelle

# Abbondanza degli elementi nella crosta terrestre

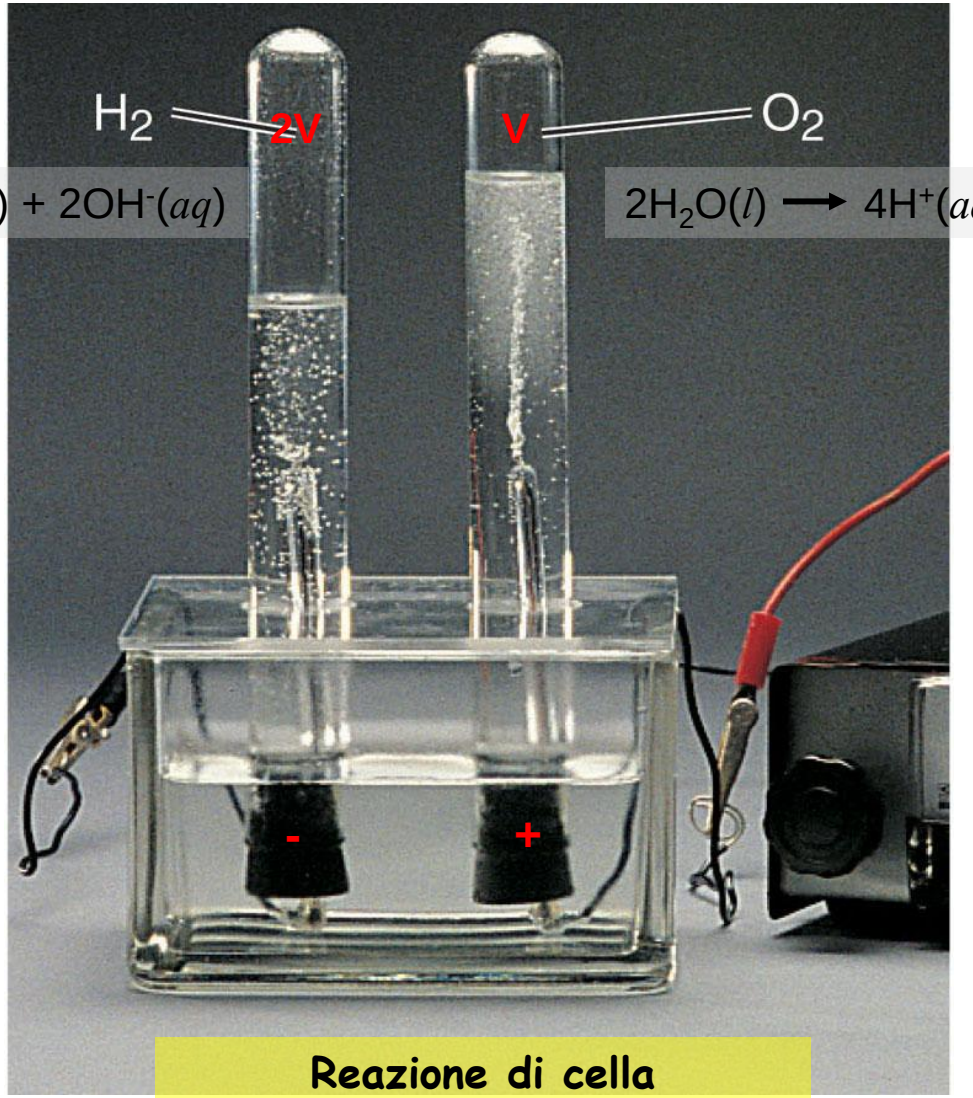



www.ptable.com

# Lettura: L'idrogeno (P. Levi)

$2H_2O(l) + 4e^- \longrightarrow 2H_2(g) + 2OH^-(aq)$

$2H_2O(l) \longrightarrow 4H^+(aq) + O_2(g) + 4e^-$




**Reazione di cella**

$2H_2O(l) \longrightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$

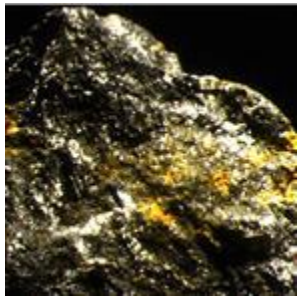
M.S. Silberberg
Chimica
McGraw Hill

dopo alcuni miliardi di anni …

12000 a.C. fusione di monili in **rame, argento, oro**

Età del bronzo (rame + **stagno**)

Età del **ferro** (riduzione con carbone dei minerali)



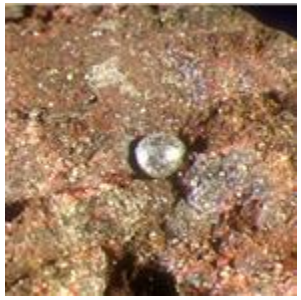
Antimonio

Argento

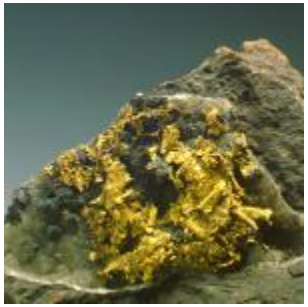
Diamante

Grafite

(Ferro)



Mercurio



Oro

Platino

Rame

Zolfo

# Gli elementi nativi come specie minerali sulla Terra

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | H | | | | | | | | | | | | | | | | | He |
| 2 | Li | Be | | | | | | | | | | | B | **C** | N | O | F | Ne |
| 3 | Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | **S** | Cl | Ar |
| 4 | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | **Cu** | Zn | Ga | Ge | **As** | Se | Br | Kr |
| 5 | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | **Ag** | Cd | In | Sn | **Sb** | Te | I | Xe |
| 6 | Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | **Pt** | **Au** | **Hg** | Tl | **Pb** | **Bi** | Po | At | Rn |
| 7 | Fr | Ra | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | Nh | Fl | Mc | Lv | Ts | Og |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |

# I colori degli elementi

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | H | | | | | | | | | | | | | | | | | He |
| 2 | Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne |
| 3 | Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| 4 | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| 5 | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| 6 | Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| 7 | Fr | Ra | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | Nh | Fl | Mc | Lv | Ts | Og |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |

ca. 450 a.C. Empedocle: ogni cosa è composta da una miscela di quattro sostanze primordiali: **fuoco, terra, aria, e acqua** con infinite combinazioni (Cina: fuoco, terra, acqua, **legno, metallo**)

ca. 440 a.C. Leucippo e Democrito: **atomo**, particella indivisibile alla base di tutta la materia

*"Tutto è composto di atomi fisicamente indivisibili. Tra gli atomi vi è lo spazio vuoto. Gli atomi sono indistruttibili, sono sempre stati e sono sempre in movimento (non vi è né un sopra né un sotto nel vuoto infinito). Vi è un numero infinito di atomi, e anche di tipi di atomi, differenti per forma e dimensioni. Gruppi differenti di atomi formano le sostanze che conosciamo."*

ca. 360 a.C. Platone conia il termine **elemento** (*stoicheia*). Il *Timeo* è un trattato rudimentale di chimica che include una discussione sulla composizione di corpi organici e inorganici; le particelle costituenti gli elementi hanno la forma di tetraedro (fuoco), cubo (terra), ottaedro (aria) e icosaedro (acqua)

ca. 350 a.C. Aristotele: le sostanze sono costituite da una combinazione di forma e materia. Elementi: **fuoco, terra, aria, acqua, etere** (quintessenza).
È possibile *trasmutare* le sostanze variando le proporzioni dei 4 "elementi"

ca. 50 a.C. Tito Lucrezio Caro nel *De rerum natura* descrive in chiave poetica le idee dell'atomismo

*"Nessuna sostanza ritorna nel nulla, ma tutte dissolte*
*ritornano alle particelle elementari della materia"*

*"Infine le vesti sospese sul lido dove s'infrangono i flutti,*
*s'inumidiscono, e invece spiegate al sole si essiccano.*
*Ma non si è mai visto come l'umore acqueo sia penetrato*
*in esse, né come sia tornato a fuggirne al calore.*
*Dunque l'acqua si suddivide in minuscole parti,*
*che gli occhi non possono per nessuna ragione vedere"*

ca. 770 Jābir ibn Hayyān (Geber), fondatore dell'alchimia araba, sviluppa vari processi chimici e isola numerosi acidi (acidi cloridrico, citrico, acetico, tartarico, acqua regia)

ca. 1000 Ibn Sīnā (Avicenna), medico e filosofo persiano, respinge le pratiche alchemiche e la teoria della trasmutazione dei metalli

ca. 1260 Alberto Magno scopre l'**arsenico** e il nitrato d'argento. È tra i primi a citare l'acido solforico

ca. 1310 Un anonimo alchimista europeo dà origine alla teoria secondo la quale tutti i metalli sono composti da **zolfo** e **mercurio** in varie proporzioni

1605 M. Sendivogius propone l'esistenza nell'aria di un "cibo vitale", ovvero l'ossigeno

1612 J. Béguin pubblica *Tyrocinium Chymicum*, forse il primo testo moderno (?) di chimica"

*Il mercurio è un liquido acido permeabile, penetrabile, etereo e purissimo, da cui derivano tutto il nutrimento, la sensibilità, il movimento, le forze e il rallentamento di una vecchiaia precoce"*

1632 G. Galilei pubblica il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*

1648 J.B. van Helmont: il testo *Ortus medicinae* stimola la transizione da alchimia a chimica. Contiene una prima versione della legge della **conservazione della massa** e influenza R. Boyle

1661 R. Boyle in *The Sceptical Chymist* tratta della differenza tra chimica e alchimia: è l'inizio della chimica moderna affrontata con il metodo scientifico (riporta anche gli **insuccessi**)

*"Io ora intendo per elementi certi corpi primitivi e semplici che non essendo costituiti da altre sostanze sono gli ingredienti di cui sono direttamente costituiti tutti quelli chiamati corpi perfettamente composti"*

*"La cosa che pongo in discussione è se ci sia una qualche sostanza che si riscontri costantemente in tutti e ciascuno di quei corpi che sono detti composti di elementi"*

1669 H. Brand, alchimista di Amburgo, cerca la pietra filosofale e invece isola il **fosforo** distillando l'urina

# I 14 elementi chimici noti nel 1730

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 Pnictogens | 16 Chalcogens | 17 Alogeni | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 H 1766 | Atomic Sim Year | | | | | | | | | | | | | | | 1730 | 2 He 1895 |
| 2 | 3 Li 1817 | 4 Be 1797 | | | | | | | | | | | 5 B 1808 | 6 C | 7 N 1772 | 8 O 1774 | 9 F 1886 | 10 Ne 1898 |
| 3 | 11 Na 1807 | 12 Mg 1755 | | | | | | | | | | | 13 Al 1825 | 14 Si 1824 | 15 P 1669 | 16 S -500 | 17 Cl 1774 | 18 Ar 1894 |
| 4 | 19 K 1807 | 20 Ca 1808 | 21 Sc 1879 | 22 Ti 1791 | 23 V 1801 | 24 Cr 1797 | 25 Mn 1774 | 26 Fe -2000 | 27 Co 1735 | 28 Ni 1751 | 29 Cu -8000 | 30 Zn 1500 | 31 Ga 1875 | 32 Ge 1886 | 33 As 1250 | 34 Se 1817 | 35 Br 1826 | 36 Kr 1898 |
| 5 | 37 Rb 1861 | 38 Sr 1790 | 39 Y 1794 | 40 Zr 1789 | 41 Nb 1801 | 42 Mo 1781 | 43 Tc 1937 | 44 Ru 1844 | 45 Rh 1803 | 46 Pd 1803 | 47 Ag -3000 | 48 Cd 1817 | 49 In 1863 | 50 Sn -3000 | 51 Sb -3000 | 52 Te 1783 | 53 I 1811 | 54 Xe 1898 |
| 6 | 55 Cs 1860 | 56 Ba 1808 | 57–71 | 72 Hf 1923 | 73 Ta 1802 | 74 W 1783 | 75 Re 1925 | 76 Os 1803 | 77 Ir 1803 | 78 Pt 1735 | 79 Au -2500 | 80 Hg -1500 | 81 Tl 1861 | 82 Pb -4000 | 83 Bi 1400 | 84 Po 1898 | 85 At 1940 | 86 Rn 1900 |
| 7 | 87 Fr 1939 | 88 Ra 1898 | 89–103 | 104 Rf 1964 | 105 Db 1967 | 106 Sg 1974 | 107 Bh 1981 | 108 Hs 1984 | 109 Mt 1982 | 110 Ds 1994 | 111 Rg 1994 | 112 Cn 1996 | 113 Nh 2004 | 114 Fl 1998 | 115 Mc 2004 | 116 Lv 2000 | 117 Ts 2010 | 118 Og 2006 |

Select a year to dim elements discovered after that year.

Tavola Periodica Design & Interface Copyright © 1997 Michael Dayah. Ptable.com Ultimo aggiornamento 16 giu 2017

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 57 La 1839 | 58 Ce 1803 | 59 Pr 1885 | 60 Nd 1885 | 61 Pm 1945 | 62 Sm 1879 | 63 Eu 1901 | 64 Gd 1880 | 65 Tb 1843 | 66 Dy 1886 | 67 Ho 1878 | 68 Er 1842 | 69 Tm 1879 | 70 Yb 1878 | 71 Lu 1907 |
| 89 Ac 1899 | 90 Th 1829 | 91 Pa 1913 | 92 U 1789 | 93 Np 1940 | 94 Pu 1940 | 95 Am 1944 | 96 Cm 1944 | 97 Bk 1949 | 98 Cf 1950 | 99 Es 1952 | 100 Fm 1952 | 101 Md 1955 | 102 No 1958 | 103 Lr 1961 |

1730 G. Brandt analizza un pigmento blu scuro trovato in un minerale di rame e dimostra che tale pigmento contiene un nuovo elemento, il **cobalto**

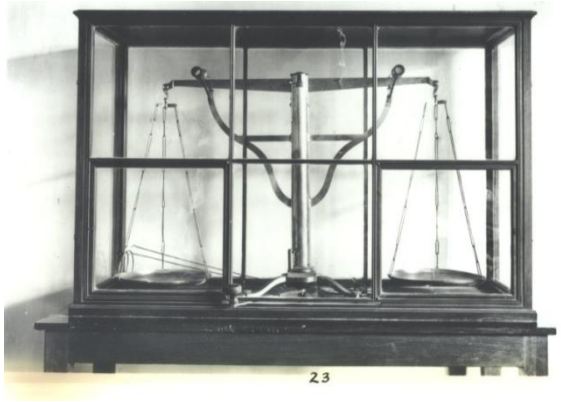
1766 H. Cavendish scopre l'**idrogeno**, un gas incolore e inodore che brucia e può formare una miscela esplosiva con l'aria

1772-4 C. Scheele e J. Priestley isolano indipendentemente l'**ossigeno**

1778 **A.-L. de Lavoisier**, considerato il fondatore della chimica moderna, dà il nome all'ossigeno (generatore di acidi) e ne riconosce il ruolo nei processi di combustione

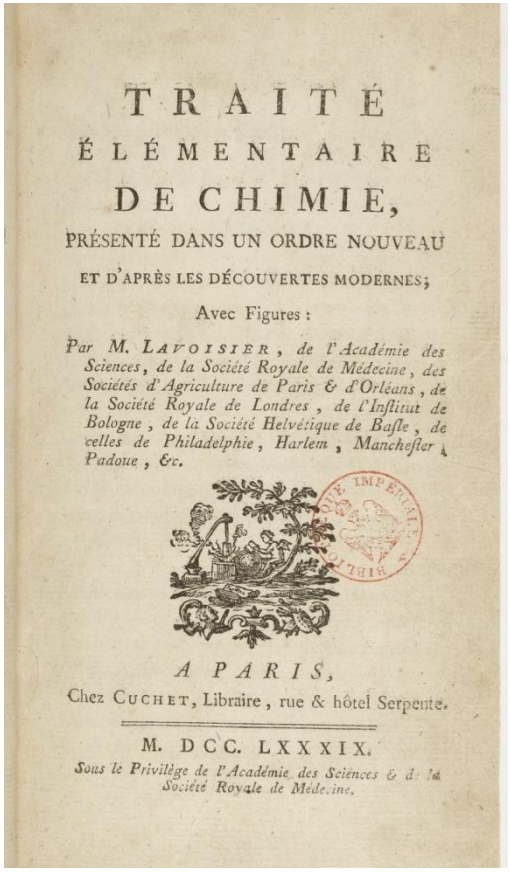
1787 Lavoisier pubblica *Méthode de nomenclature chimique*, il primo sistema razionale di nomenclatura chimica (-oso / -ito, -ico / -ato)

1789 Lavoisier pubblica *Traité Élémentaire de Chimie*, il testo di fondazione della chimica moderna, con la definizione inequivocabile della **legge della conservazione della massa**. Nascono **stechiometria** e chimica analitica quantitativa




*"Possiamo porre come incontestabile assioma che in tutte le operazioni dell'arte e della natura nulla viene creato; un'uguale quantità di materia esiste prima e dopo l'esperimento, la qualità e quantità degli elementi rimane precisamente la stessa e nulla accade oltre a cambiamenti e modifiche nella combinazione di questi elementi"*

| | Noms nouveaux. | Noms anciens correſpondans. |
|---|---|---|
| *Subſtances ſimples qui appartiennent aux trois règnes, & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.* | Lumière | Lumière. |
| | Calorique | Chaleur.<br>Principe de la chaleur.<br>Fluide igné.<br>Feu.<br>Matière du feu & de la chaleur. |
| | Oxygène | Air déphlogiſtiqué.<br>Air empiréal.<br>Air vital.<br>Baſe de l'air vital. |
| | Azote | Gaz phlogiſtiqué.<br>Mofète.<br>Baſe de la mofète. |
| | Hydrogène | Gaz inflammable.<br>Baſe du gaz inflammable. |
| *Subſtances ſimples non métalliques oxidables & acidifiables.* | Soufre | Soufre. |
| | Phoſphore | Phoſphore. |
| | Carbone | Charbon pur. |
| | Radical muriatique | Inconnu. |
| | Radical fluorique | Inconnu. |
| | Radical boracique | Inconnu. |
| *Subſtances ſimples métalliques oxidables & acidifiables.* | Antimoine | Antimoine. |
| | Argent | Argent. |
| | Arſenic | Arſenic. |
| | Biſmuth | Biſmuth. |
| | Cobalt | Cobalt. |
| | Cuivre | Cuivre. |
| | Etain | Etain. |
| | Fer | Fer. |
| | Manganèſe | Manganèſe. |
| | Mercure | Mercure. |
| | Molybdène | Molybdène. |
| | Nickel | Nickel. |
| | Or | Or. |
| | Platine | Platine. |
| | Plomb | Plomb. |
| | Tungſtène | Tungſtène. |
| | Zinc | Zinc. |
| *Subſtances ſimples ſalifiables terreuſes.* | Chaux | Terre calcaire, chaux. |
| | Magnéſie | Magnéſie, baſe du ſel d'epſom. |
| | Baryte | Barote, terre pesante. |
| | Alumine | Argile, terre de l'alun, baſe de l'alun. |
| | Silice | Terre ſiliceuſe, terre vitrifiable. |



TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE CHIMIE,
PRÉSENTÉ DANS UN ORDRE NOUVEAU
ET D'APRÈS LES DÉCOUVERTES MODERNES;
Avec Figures :
Par M. LAVOISIER, de l'Académie des Sciences, de la Société Royale de Médecine, des Sociétés d'Agriculture de Paris & d'Orléans, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Bologne, de la Société Helvétique de Baſle, de celles de Philadelphie, Harlem, Manchester & Padoue, &c.
A PARIS,
Chez CUCHET, Libraire, rue & hôtel Serpente.
M. DCC. LXXXIX.
Sous le Privilège de l'Académie des Sciences & de la Société Royale de Médecine.

"La Nature ne fait rien de rien et la matiére ne se perd point"

E. Mariotte (1620-1684)

FIGURE 1.2
List of 33 simple substances compiled by Lavoisier. *Traité Elémentaire de Chimie*, Cuchet, Paris, 1789, p. 192

1797 J. Proust propone la legge delle proporzioni definite: gli elementi reagiscono per formare composti combinandosi secondo **proporzioni in massa definite e costanti**

1800 A. Volta inventa la **pila**: nasce l'elettrochimica

1805 J. L. Gay-Lussac e A. von Humboldt dimostrano che l'acqua è costituita da due volumi di idrogeno e un volume di ossigeno

1808 J. L. Gay-Lussac formula la **legge dei volumi di combinazione**: se due sostanze gassose reagiscono a temperatura e pressione costante, i volumi dei gas reagenti stanno tra loro secondo rapporti espressi da numeri interi e piccoli

1808 J. Dalton propone la prima teoria atomica moderna e una chiara enunciazione della legge delle proporzioni multiple

- *la materia è formata da piccolissime particelle elementari indivisibili dette atomi*
- *gli atomi non possono essere né creati né distrutti*
- *gli atomi di un elemento non possono essere convertiti in atomi di altri elementi*

1811 A. Avogadro propone l'omonima legge: **volumi uguali di gas diversi, alla stessa temperatura e pressione, contengono un ugual numero di molecole**

1811 B. Courtois scopre casualmente lo **iodio** bruciando alghe marine ma non si accorge che ha isolato un nuovo elemento

1828 F. Wöhler sintetizza l'urea dal cianato di ammonio, fine della **teoria del vitalismo**

1829 **J.W. Döbereiner formula la legge delle triadi** basata su pesi atomici inaccurati

Li/Na/K; Ca/Sr/Ba; S/Se/Te; Cl/Br/I P.A.(Br) = (P.A.(Cl) + P.A.(I)) / 2

1852 E. Frankland introduce il concetto di **valenza:** ogni atomo può combinarsi solo con un ben preciso numero di altri atomi

1859 R. Bunsen e G. Kirchhoff pongono le basi per l'uso della spettroscopia in campo analitico e scoprono Cs e Rb: con la stessa tecnica verranno scoperti In, Ga, Tl, He

1860 S. Cannizzaro riprende le idee di Avogadro sulle molecole diatomiche; compila una tabella di pesi atomici per il Congresso di Karlsruhe

1862 **A.-É. Béguyer de Chancourtois** (mistico, pitagorico) **pubblica la "vis tellurique" (tavola periodica tridimensionale), la prima formulazione della periodicità delle proprietà degli elementi**

1863-5 **J. Newlands propone (senza successo) la legge delle ottave**, una disposizione degli elementi in base al peso atomico che precorre la tavola periodica degli elementi

Newlands's table illustrating the law of octaves as presented to the Chemical Society in 1866

| | No. | | No. | | No. | | No. | | No. | | No. | | No. | | No. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | 1 | F | 8 | Cl | 15 | Co & Ni | 22 | Br & Ni | 22 | Pd | 36 | I | 42 | Pt & Ir | 50 |
| Li | 2 | Na | 9 | K | 16 | Cu | 23 | Rb | 30 | Ag | 37 | Cs | 44 | Os | 51 |
| G | 3 | Mg | 10 | Ca | 17 | Zn | 24 | Sr | 31 | Cd | 38 | Ba & V | 45 | Hg | 52 |
| Bo | 4 | Al | 11 | Cr | 19 | Y | 25 | Ce & La | 33 | U | 40 | Ta | 46 | Tl | 53 |
| C | 5 | Si | 12 | Ti | 18 | In | 26 | Zr | 32 | Sn | 39 | W | 47 | Pb | 54 |
| N | 6 | P | 23 | Mn | 20 | As | 27 | Di & Mo | 34 | Sb | 41 | Nb | 48 | Bi | 55 |
| O | 7 | S | 14 | Fe | 21 | Se | 28 | Ro & Ru | 35 | Te | 43 | Au | 49 | Th | 56 |

Note the inclusion of a number of nonconventional symbols, from the contemporary point of view. These are G for glucinium, subsequently called beryllium; Bo for boron; Di for didymium, which later turned out to be a mixture of two rare earth elements; and Ro for rhodium.

1864 W. Odling, successore di Faraday alla R.I., sostiene le idee di Avogadro e Cannizzaro; individua la **periodicità del comportamento di 57 elementi e alcune posizioni vacanti**. Muore nel 1921 a 91 anni quando l'atomo non è più indivisibile

# Anno 1864

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 Pnictogens | 16 Chalcogens | 17 Alogeni | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 H 1766 | Atomic Sim Year | | | | | | | | | | | | | | | 1864 | 2 He 1895 |
| 2 | 3 Li 1817 | 4 Be 1797 | | | | | | | | | | | 5 B 1808 | 6 C | 7 N 1772 | 8 O 1774 | 9 F 1886 | 10 Ne 1898 |
| 3 | 11 Na 1807 | 12 Mg 1755 | | | | | | | | | | | 13 Al 1825 | 14 Si 1824 | 15 P 1669 | 16 S -500 | 17 Cl 1774 | 18 Ar 1894 |
| 4 | 19 K 1807 | 20 Ca 1808 | 21 Sc 1879 | 22 Ti 1791 | 23 V 1801 | 24 Cr 1797 | 25 Mn 1774 | 26 Fe -2000 | 27 Co 1735 | 28 Ni 1751 | 29 Cu -8000 | 30 Zn 1500 | 31 Ga 1875 | 32 Ge 1886 | 33 As 1250 | 34 Se 1817 | 35 Br 1826 | 36 Kr 1898 |
| 5 | 37 Rb 1861 | 38 Sr 1790 | 39 Y 1794 | 40 Zr 1789 | 41 Nb 1801 | 42 Mo 1781 | 43 Tc 1937 | 44 Ru 1844 | 45 Rh 1803 | 46 Pd 1803 | 47 Ag -3000 | 48 Cd 1817 | 49 In 1863 | 50 Sn -3000 | 51 Sb -3000 | 52 Te 1783 | 53 I 1811 | 54 Xe 1898 |
| 6 | 55 Cs 1860 | 56 Ba 1808 | 57–71 | 72 Hf 1923 | 73 Ta 1802 | 74 W 1783 | 75 Re 1925 | 76 Os 1803 | 77 Ir 1803 | 78 Pt 1735 | 79 Au -2500 | 80 Hg -1500 | 81 Tl 1861 | 82 Pb -4000 | 83 Bi 1400 | 84 Po 1898 | 85 At 1940 | 86 Rn 1900 |
| 7 | 87 Fr 1939 | 88 Ra 1898 | 89–103 | 104 Rf 1964 | 105 Db 1967 | 106 Sg 1974 | 107 Bh 1981 | 108 Hs 1984 | 109 Mt 1982 | 110 Ds 1994 | 111 Rg 1994 | 112 Cn 1996 | 113 Nh 2004 | 114 Fl 1998 | 115 Mc 2004 | 116 Lv 2000 | 117 Ts 2010 | 118 Og 2006 |

Select a year to dim elements discovered after that year.

Tavola Periodica Design & Interface Copyright © 1997 Michael Dayah. Ptable.com Ultimo aggiornamento 16 giu 2017

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 57 La 1839 | 58 Ce 1803 | 59 Pr 1885 | 60 Nd 1885 | 61 Pm 1945 | 62 Sm 1879 | 63 Eu 1901 | 64 Gd 1880 | 65 Tb 1843 | 66 Dy 1886 | 67 Ho 1878 | 68 Er 1842 | 69 Tm 1879 | 70 Yb 1878 | 71 Lu 1907 |
| 89 Ac 1899 | 90 Th 1829 | 91 Pa 1913 | 92 U 1789 | 93 Np 1940 | 94 Pu 1940 | 95 Am 1944 | 96 Cm 1944 | 97 Bk 1949 | 98 Cf 1950 | 99 Es 1952 | 100 Fm 1952 | 101 Md 1955 | 102 No 1958 | 103 Lr 1961 |

# 1864 Julius Lothar Meyer: organizza 28 elementi in base alla valenza

| | 4 werthig | 3 werthig | 2 werthig | 1 werthig | 1 werthig | 2 werthig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | –– | –– | –– | –– | Li = 7.03 | (Be = 9.3?) |
| Differenz = | –– | –– | –– | –– | 16.02 | (14.7) |
| | C = 12.0 | N = 14.04 | O = 16.00 | Fl = 19.0 | Na = 23.05 | Mg = 24.0 |
| Differenz = | 16.5 | 16.96 | 16.07 | 16.46 | 16.08 | 16.0 |
| | Si = 28.5 | P = 31.0 | S = 32.07 | Cl = 35.46 | K = 39.13 | Ca = 40.0 |
| Differenz = | $\frac{89.1}{2}$ = 44.55 | 44.0 | 46.7 | 44.51 | 46.3 | 47.6 |
| | –– | As = 75.0 | Se = 78.8 | Br = 79.97 | Rb = 85.4 | Sr = 87.6 |
| Differenz = | $\frac{89.1}{2}$ = 44.55 | 45.6 | 49.5 | 46.8 | 47.6 | 49.5 |
| | Sn = 117.6 | Sb = 120.6 | Te = 128.3 | I = 126.8 | Cs = 133.0 | Ba = 137.1 |
| Differenz = | 89.4 = 2 x 44.7 | 87.4 = 2 x 43.7 | –– | –– | (71 = 2 x 35.5) | –– |
| | Pb = 207.0 | Bi = 208.0 | –– | –– | (Tl = 204?) | –– |

FIGURE 3.9 Table of 1864. J. Lothar Meyer, *Die modernen thoerien und ihre Bedeutung fur die chemische Statisik*, Breslau (Wroclaw), 1864, p. 135.

Volume atomico molare ($cm^3/mol$) = $\mathcal{M}$ ($g/mol$) / $d$ ($g/cm^3$)

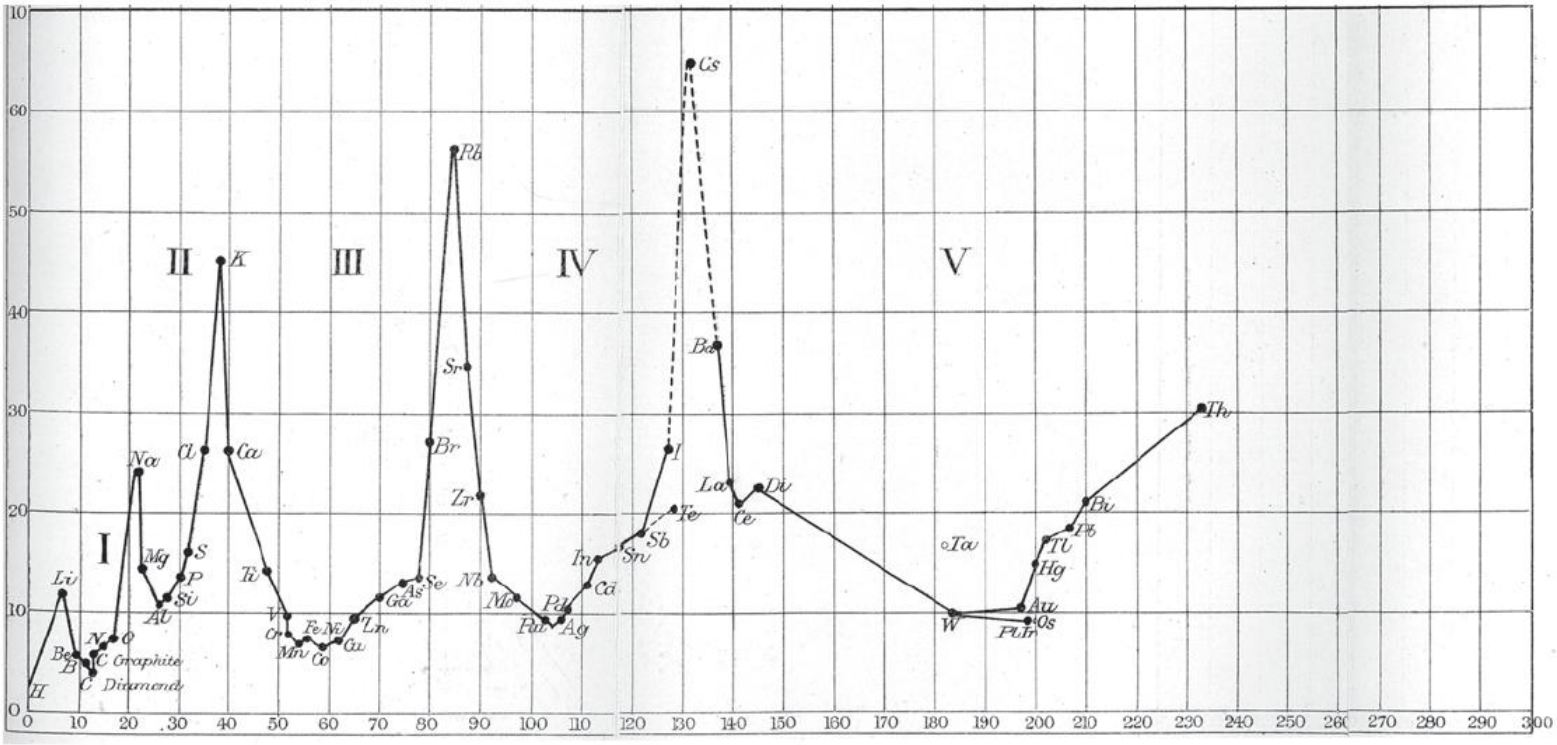


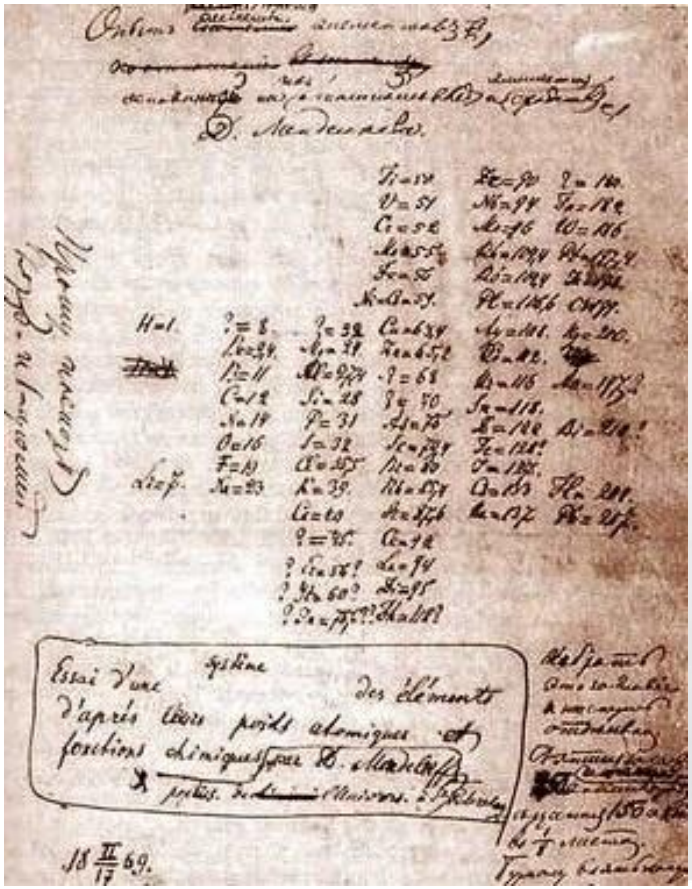

FIGURE 3.10 Plot of atomic volume versus atomic weight. J. Lothar Meyer, Die Natur der Chemischen Elemente als Function ihrer Atomgewichte, *Annalen der Chemie, Supplementband*, 7, 354–364, 1870. Redrawn by T. Bayley, *Philosophical Magazine*, 13, 26–37, 1882, p. 26.

La stessa analisi venne presentata da D. Mendeleev nel 1869 a Mosca

1869 Dmitrij Ivanovic Mendeleev lavora indipendentemente sulle **proprietà chimiche degli elementi**; pubblica la prima Tavola Periodica degli elementi moderna ordinando gli elementi noti secondo il **peso atomico, caratteristica fondamentale** che cresce con regolarità ma con salti

*"Le proprietà degli elementi, incluse le proprietà di combinazione, sono una funzione periodica del peso atomico"*

| Reihen | Gruppe I. — $R^2O$ | Gruppe II. — $RO$ | Gruppe III. — $R^2O^3$ | Gruppe IV. $RH^4$ $RO^2$ | Gruppe V. $RH^3$ $R^2O^5$ | Gruppe VI. $RH^2$ $RO^3$ | Gruppe VII. $RH$ $R^2O^7$ | Gruppe VIII. — $RO^4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | H=1 | | | | | | | |
| 2 | Li=7 | Be=9,4 | B=11 | C=12 | N=14 | O=16 | F=19 | |
| 3 | Na=23 | Mg=24 | Al=27,3 | Si=28 | P=31 | S=32 | Cl=35,5 | |
| 4 | K=39 | Ca=40 | —=44 | Ti=48 | V=51 | Cr=52 | Mn=55 | Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63. |
| 5 | (Cu=63) | Zn=65 | —=68 | —=72 | As=75 | Se=78 | Br=80 | |
| 6 | Rb=85 | Sr=87 | ?Yt=88 | Zr=90 | Nb=94 | Mo=96 | —=100 | Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108. |
| 7 | (Ag=108) | Cd=112 | In=113 | Sn=118 | Sb=122 | Te=125 | J=127 | |
| 8 | Cs=133 | Ba=137 | ?Di=138 | ?Ce=140 | — | — | — | — — — — |
| 9 | (—) | — | — | — | — | — | — | |
| 10 | — | — | ?Er=178 | ?La=180 | Ta=182 | W=184 | — | Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199. |
| 11 | (Au=199) | Hg=200 | Tl=204 | Pb=207 | Bi=208 | — | — | |
| 12 | — | — | — | Th=231 | — | U=240 | — | — — — — |



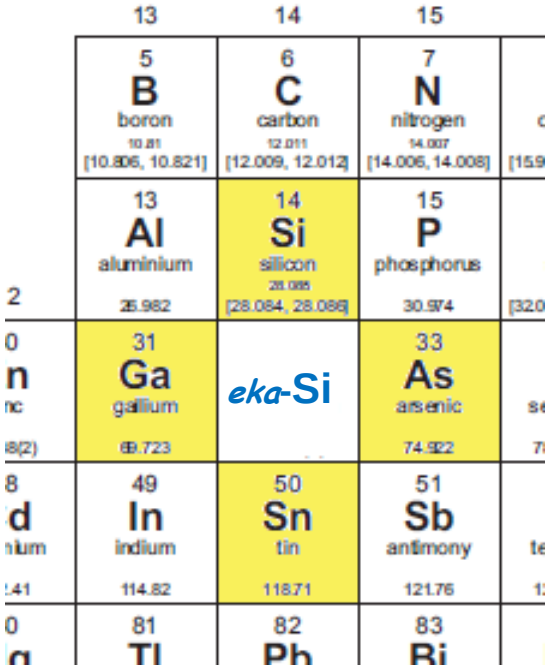
P.A. molto diversi ma proprietà chimiche simili

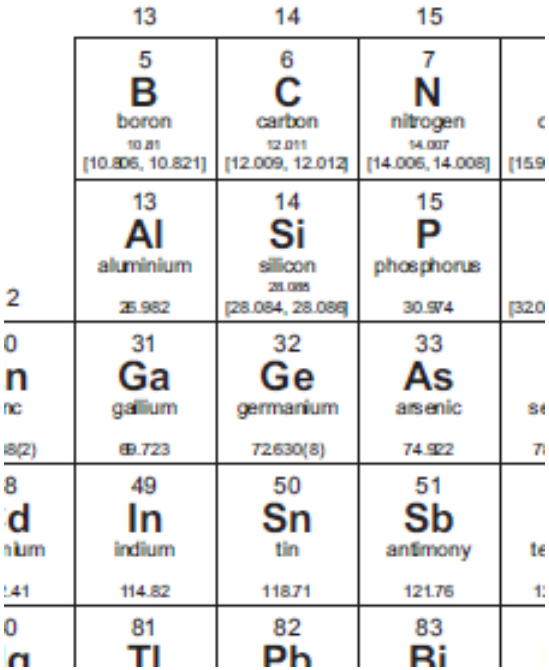
P.A. ravvicinati ma proprietà chimiche significativamente diverse

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | K = 39 | Rb = 85 | Cs = 133 | — | — |
| | | | Ca = 40 | Sr = 87 | Ba = 137 | — | — |
| | | | — | ?Yt = 88? | ?Di = 138? | Er = 178? | — |
| | | | Ti = 48? | Zr = 90 | Co = 140? | ?La = 180? | Tb = 231 |
| | | | V = 51 | Nb = 94 | — | Ta = 182 | — |
| | | | Cr = 52 | Mo = 96 | — | W = 184 | U = 240 |
| | | | Mn = 55 | — | — | — | — |
| | | | Fe = 56 | Ru = 104 | — | Os = 195? | — |
| | | | Co = 59 | Rh = 104 | — | Ir = 197 | — |
| Typische Elemente | | | Ni = 59 | Pd = 106 | — | Pt = 198? | — |
| H = 1 | Li = 7 | Na = 23 | Cu = 63 | Ag = 108 | — | Au = 199? | — |
| | Be = 9,4 | Mg = 24 | Zn = 65 | Cd = 112 | — | Hg = 200 | — |
| | B = 11 | Al = 27,3 | — | In = 113 | — | Tl = 204 | — |
| | C = 12 | Si = 28 | — | Sn = 118 | — | Pb = 207 | — |
| | N = 14 | P = 31 | As = 75 | Sb = 122 | — | Bi = 208 | — |
| | O = 16 | S = 32 | Se = 78 | Te = 125? | — | — | — |
| | F = 19 | Cl = 35,5 | Br = 80 | J = 127 | — | — | — |

FIGURE 4.3 Mendeleev's published periodic system, of 1869. D.I. Mendeleev, Sootnoshenie svoistv s atomnym vesom elementov, *Zhurnal Russkeo Fiziko-Khimicheskoe Obshchestv*, 1, 60–77, 1869,

# Mendeleev lascia alcune posizioni vuote




Regola del quadrilatero P.A.(eka-Si ) ≈ (28,08 + 118,7 + 69.72 + 74,92) / 4 = 72,9

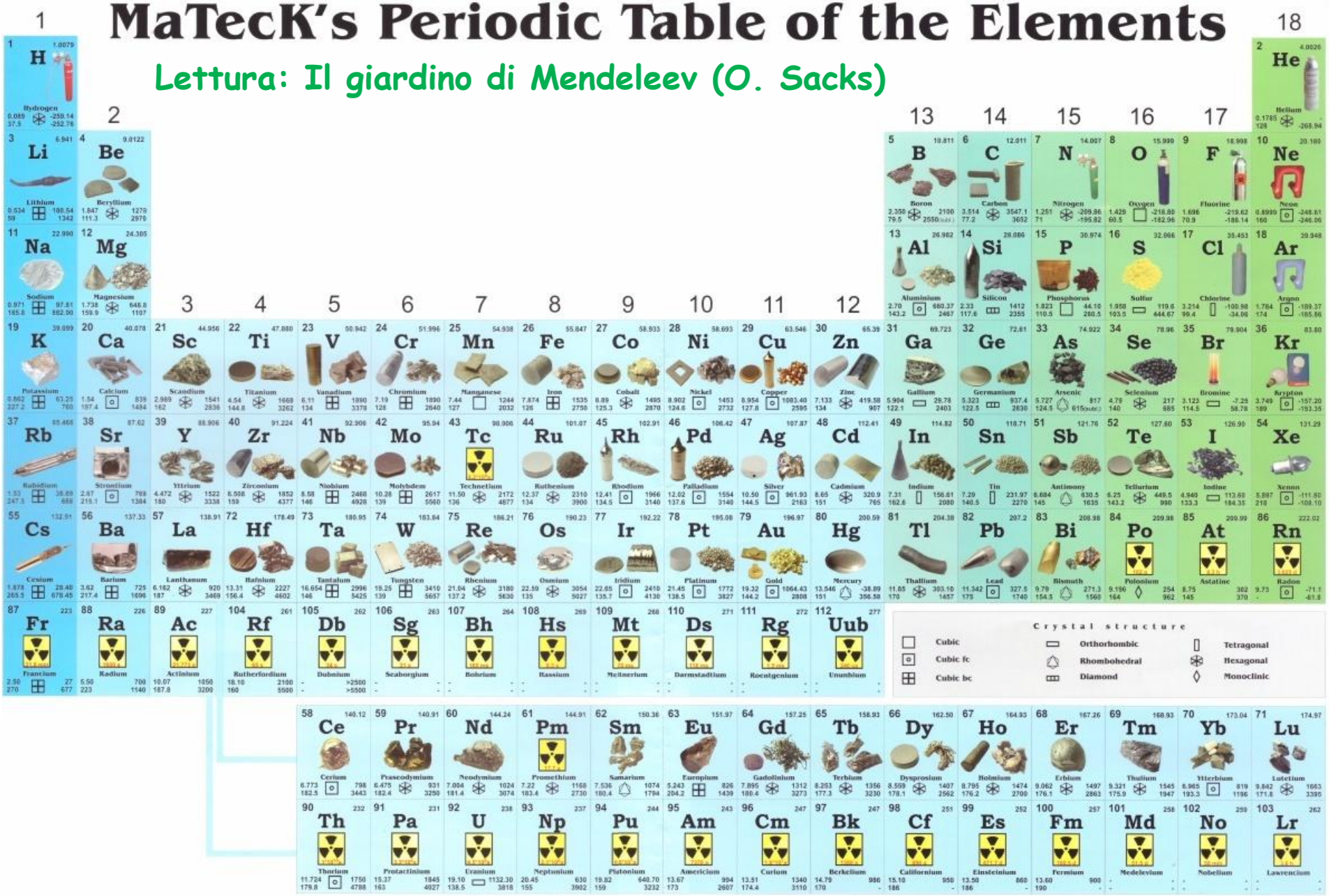
List of Mendeleev's Major Predictions, Successful and Otherwise

| *Element as given by Mendeleev* | *Predicted atomic weight* | *Measured atomic weight* | *Eventual name* |
|---|---|---|---|
| Coronium | 0.4 | Not found | Not found |
| Ether | 0.17 | Not found | Not found |
| Eka-boron | 44 | 44.6 | Scandium |
| Eka-cerium | 54 | Not found | Not found |
| Eka-aluminum | 68 | 69.2 | Gallium |
| Eka-silicon | 72 | 72.0 | Germanium |
| Eka-manganese | 100 | 99 | Technetium (1925) |
| Eka-molybdenum | 140 | Not found | Not found |
| Eka-niobium | 146 | Not found | Not found |
| Eka-cadmium | 155 | Not found | Not found |
| Eka-iodine | 170 | Not found | Not found |
| Eka-caesium | 175 | Not found | Not found |
| Tri-manganese | 190 | 186 | Rhenium (1925) |
| Dvi-tellurium | 212 | 210 | Polonium (1898) |
| Dvi-caesium | 220 | 223 | Francium (1937) |
| Eka-tantalum | 235 | 231 | Protactinium (1917) |

Altri problemi non risolti: pesi atomici di Co/Ni, Te/I e lantanidi

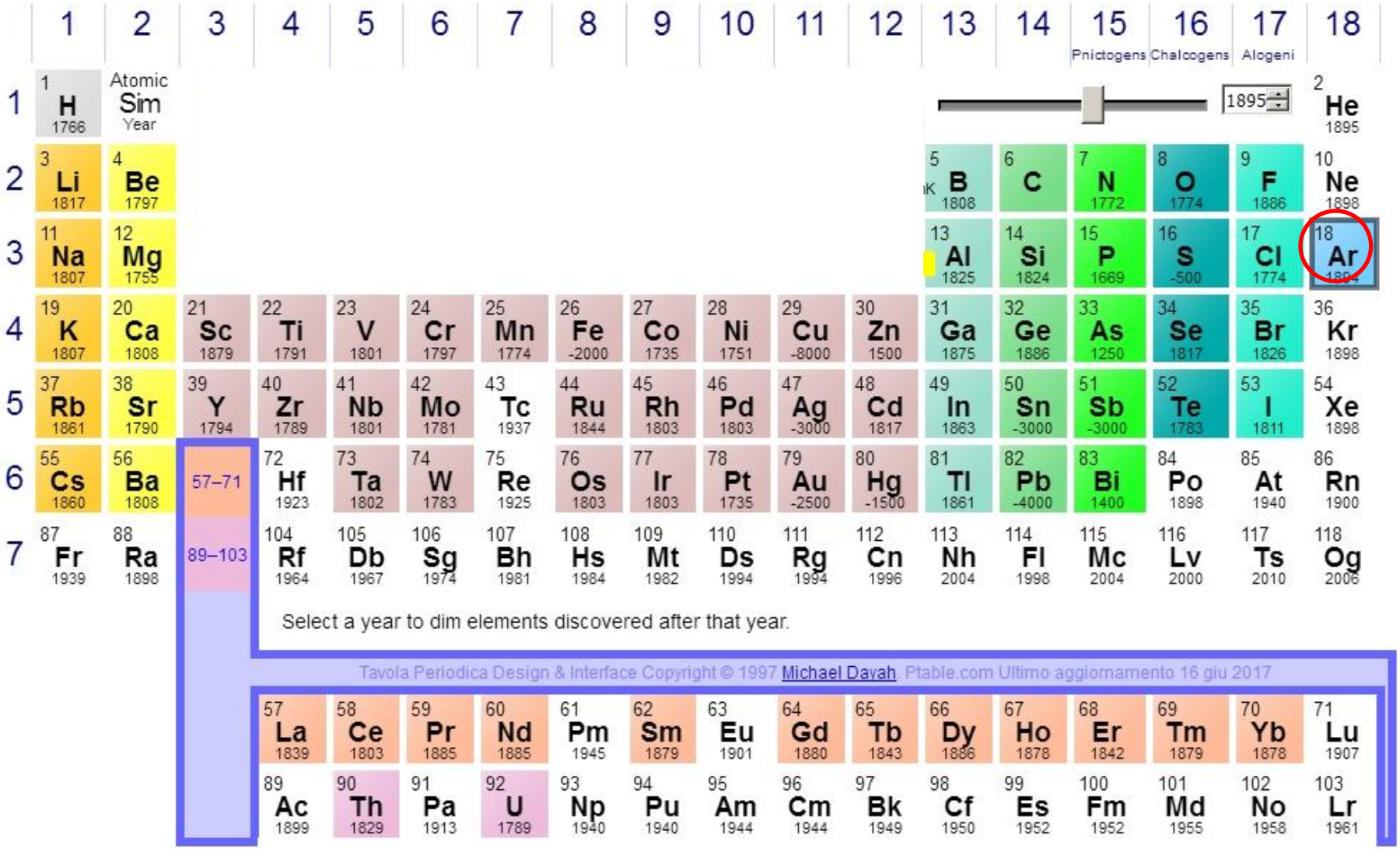
# MaTecK's Periodic Table of the Elements

## Lettura: Il giardino di Mendeleev (O. Sacks)




© Copyright by MaTecK GmbH, Juelich 2006, Germany, all rights reserved

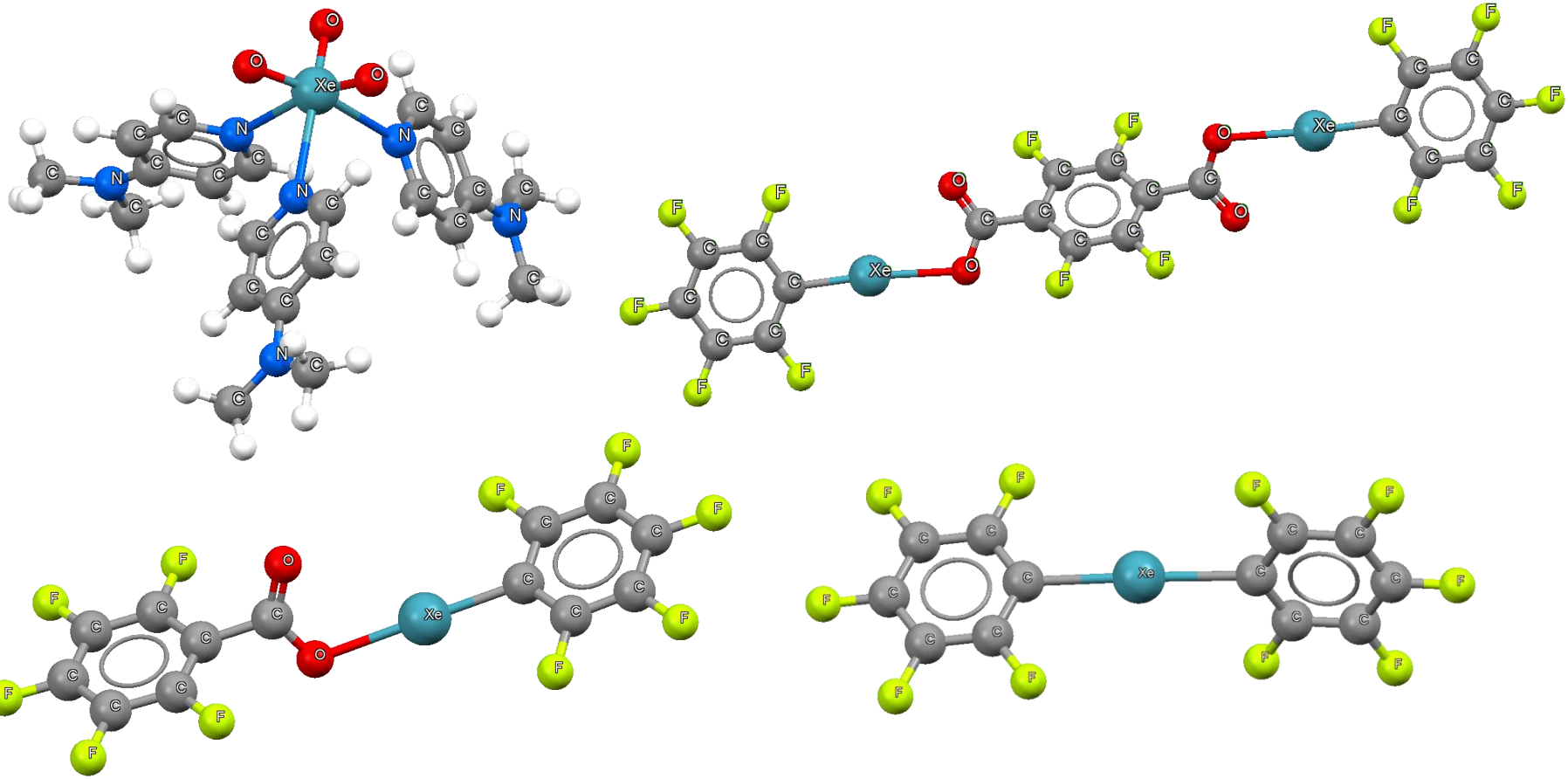
# Anno 1894


1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
Pnictogens
Chalcogens
Alogeni
Atomic Sim Year
1895
1 H 1766
2 He 1895
3 Li 1817
4 Be 1797
5 B 1808
6 C
7 N 1772
8 O 1774
9 F 1886
10 Ne 1898
11 Na 1807
12 Mg 1755
13 Al 1825
14 Si 1824
15 P 1669
16 S -500
17 Cl 1774
18 Ar
19 K 1807
20 Ca 1808
21 Sc 1879
22 Ti 1791
23 V 1801
24 Cr 1797
25 Mn 1774
26 Fe -2000
27 Co 1735
28 Ni 1751
29 Cu -8000
30 Zn 1500
31 Ga 1875
32 Ge 1886
33 As 1250
34 Se 1817
35 Br 1826
36 Kr 1898
37 Rb 1861
38 Sr 1790
39 Y 1794
40 Zr 1789
41 Nb 1801
42 Mo 1781
43 Tc 1937
44 Ru 1844
45 Rh 1803
46 Pd 1803
47 Ag -3000
48 Cd 1817
49 In 1863
50 Sn -3000
51 Sb -3000
52 Te 1783
53 I 1811
54 Xe 1898
55 Cs 1860
56 Ba 1808
57–71
72 Hf 1923
73 Ta 1802
74 W 1783
75 Re 1925
76 Os 1803
77 Ir 1803
78 Pt 1735
79 Au -2500
80 Hg -1500
81 Tl 1861
82 Pb -4000
83 Bi 1400
84 Po 1898
85 At 1940
86 Rn 1900
87 Fr 1939
88 Ra 1898
89–103
104 Rf 1964
105 Db 1967
106 Sg 1974
107 Bh 1981
108 Hs 1984
109 Mt 1982
110 Ds 1994
111 Rg 1994
112 Cn 1996
113 Nh 2004
114 Fl 1998
115 Mc 2004
116 Lv 2000
117 Ts 2010
118 Og 2006
Select a year to dim elements discovered after that year.
Tavola Periodica Design & Interface Copyright © 1997 Michael Dayah. Ptable.com Ultimo aggiornamento 16 giu 2017
57 La 1839
58 Ce 1803
59 Pr 1885
60 Nd 1885
61 Pm 1945
62 Sm 1879
63 Eu 1901
64 Gd 1880
65 Tb 1843
66 Dy 1886
67 Ho 1878
68 Er 1842
69 Tm 1879
70 Yb 1878
71 Lu 1907
89 Ac 1899
90 Th 1829
91 Pa 1913
92 U 1789
93 Np 1940
94 Pu 1940
95 Am 1944
96 Cm 1944
97 Bk 1949
98 Cf 1950
99 Es 1952
100 Fm 1952
101 Md 1955
102 No 1958
103 Lr 1961

1894 W. Ramsay scopre i **gas nobili**, occupando una regione inattesa nella tavola periodica: Mendeleev sbaglia l'assegnazione dell'argon all'interno del suo sistema periodico

(1962 N. Bartlett ottiene il primo composto di un gas nobile)

**Lettura: L'argon (P. Levi)**



# Anno 1900

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 Pnictogens | 16 Chalcogens | 17 Alogeni | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 H 1766 | Atomic Sim Year | | | | | | | | | | | | | | | 1900 | 2 He 1895 |
| 2 | 3 Li 1817 | 4 Be 1797 | | | | | | | | | | | 5 B 1808 | 6 C | 7 N 1772 | 8 O 1774 | 9 F 1886 | 10 Ne 1898 |
| 3 | 11 Na 1807 | 12 Mg 1755 | | | | | | | | | | | 13 Al 1825 | 14 Si 1824 | 15 P 1669 | 16 S -500 | 17 Cl 1774 | 18 Ar 1894 |
| 4 | 19 K 1807 | 20 Ca 1808 | 21 Sc 1879 | 22 Ti 1791 | 23 V 1801 | 24 Cr 1797 | 25 Mn 1774 | 26 Fe -2000 | 27 Co 1735 | 28 Ni 1751 | 29 Cu -8000 | 30 Zn 1500 | 31 Ga 1875 | 32 Ge 1886 | 33 As 1250 | 34 Se 1817 | 35 Br 1826 | 36 Kr 1898 |
| 5 | 37 Rb 1861 | 38 Sr 1790 | 39 Y 1794 | 40 Zr 1789 | 41 Nb 1801 | 42 Mo 1781 | 43 Tc 1937 | 44 Ru 1844 | 45 Rh 1803 | 46 Pd 1803 | 47 Ag -3000 | 48 Cd 1817 | 49 In 1863 | 50 Sn -3000 | 51 Sb -3000 | 52 Te 1783 | 53 I 1811 | 54 Xe 1898 |
| 6 | 55 Cs 1860 | 56 Ba 1808 | 57–71 | 72 Hf 1923 | 73 Ta 1802 | 74 W 1783 | 75 Re 1925 | 76 Os 1803 | 77 Ir 1803 | 78 Pt 1735 | 79 Au -2500 | 80 Hg -1500 | 81 Tl 1861 | 82 Pb -4000 | 83 Bi 1400 | 84 Po 1898 | 85 At 1940 | 86 Rn 1900 |
| 7 | 87 Fr 1939 | 88 Ra 1898 | 89–103 | 104 Rf 1964 | 105 Db 1967 | 106 Sg 1974 | 107 Bh 1981 | 108 Hs 1984 | 109 Mt 1982 | 110 Ds 1994 | 111 Rg 1994 | 112 Cn 1996 | 113 Nh 2004 | 114 Fl 1998 | 115 Mc 2004 | 116 Lv 2000 | 117 Ts 2010 | 118 Og 2006 |

Select a year to dim elements discovered after that year.

Tavola Periodica Design & Interface Copyright © 1997 Michael Dayah. Ptable.com Ultimo aggiornamento 16 giu 2017

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 57 La 1839 | 58 Ce 1803 | 59 Pr 1885 | 60 Nd 1885 | 61 Pm 1945 | 62 Sm 1879 | 63 Eu 1901 | 64 Gd 1880 | 65 Tb 1843 | 66 Dy 1886 | 67 Ho 1878 | 68 Er 1842 | 69 Tm 1879 | 70 Yb 1878 | 71 Lu 1907 |
| 89 Ac 1899 | 90 Th 1829 | 91 Pa 1913 | 92 U 1789 | 93 Np 1940 | 94 Pu 1940 | 95 Am 1944 | 96 Cm 1944 | 97 Bk 1949 | 98 Cf 1950 | 99 Es 1952 | 100 Fm 1952 | 101 Md 1955 | 102 No 1958 | 103 Lr 1961 |

# Gli atomi esistono davvero?

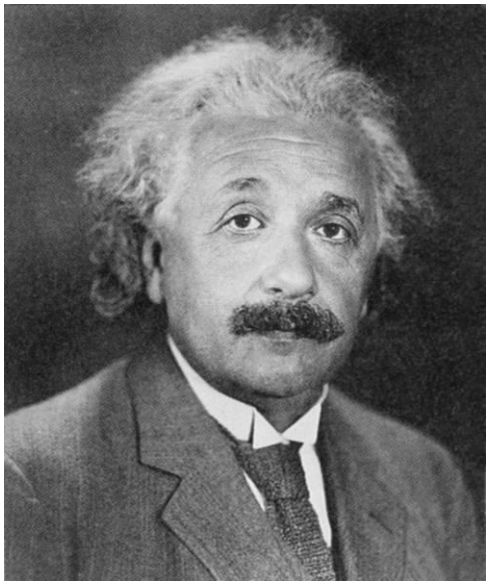
1827 R. Brown studia i granuli di polline in sospensione acquosa

1897 J. J. Thomson scopre l'elettrone

1905 A. Einstein descrive quantitativamente il moto browniano

1910 E. Rutherford propone il modello planetario dell'atomo

1913 H. Moseley dimostra che Z, carica positiva del nucleo, è un parametro fisico reale: da H a U ci sono esattamente 92 elementi, inversione delle coppie Co/Ni, Te/I, mancano elementi con Z = 43, 61, 72, 75, 85, 87

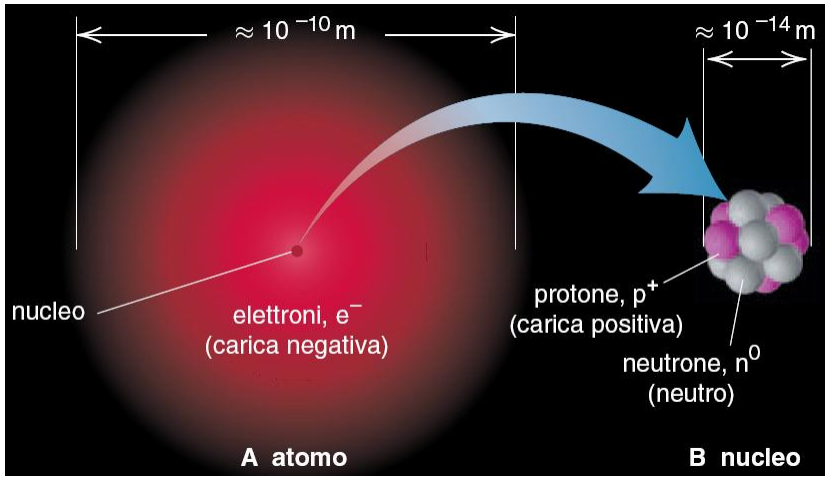


1919 E. Rutherford scopre il protone (Z è il numero di protoni)

1923 J. Chadwick scopre il neutrone

L'atomo non è più indivisibile

Le reazioni nucleari trasmutano gli elementi




M.S. Silberberg - Chimica McGraw Hill

J. H. Vincent 1902

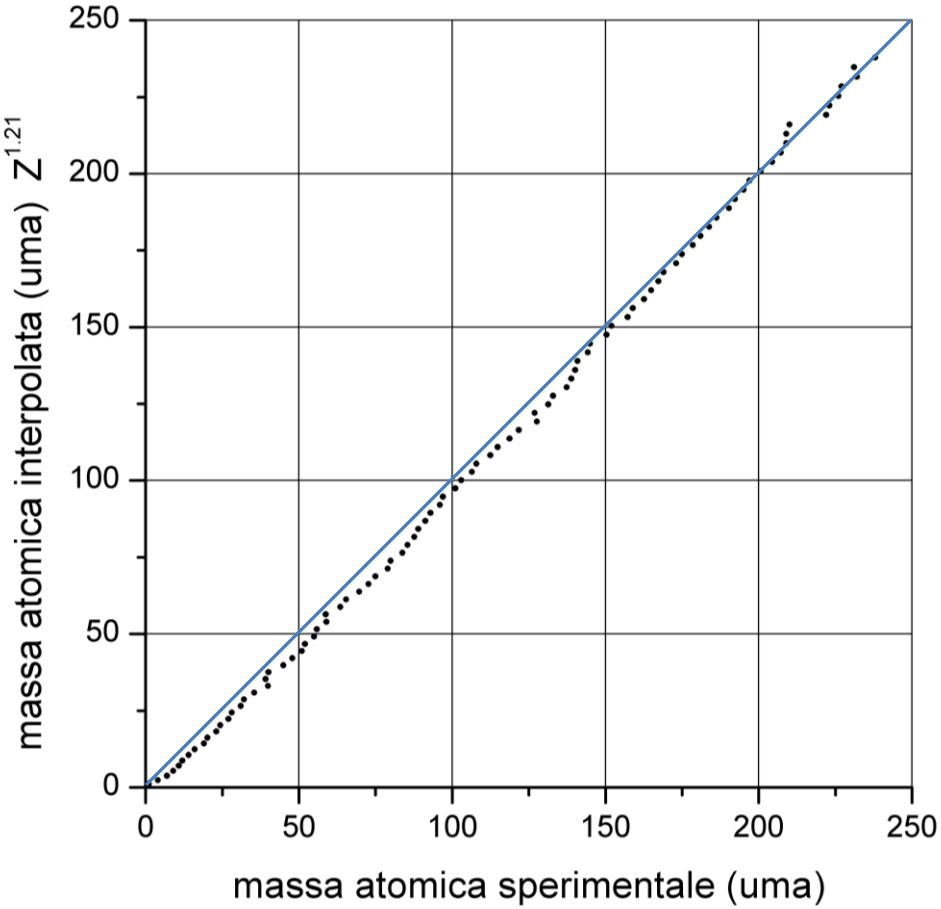
massa atomica = $N^{1,21}$ con N intero positivo

N = 1 idrogeno

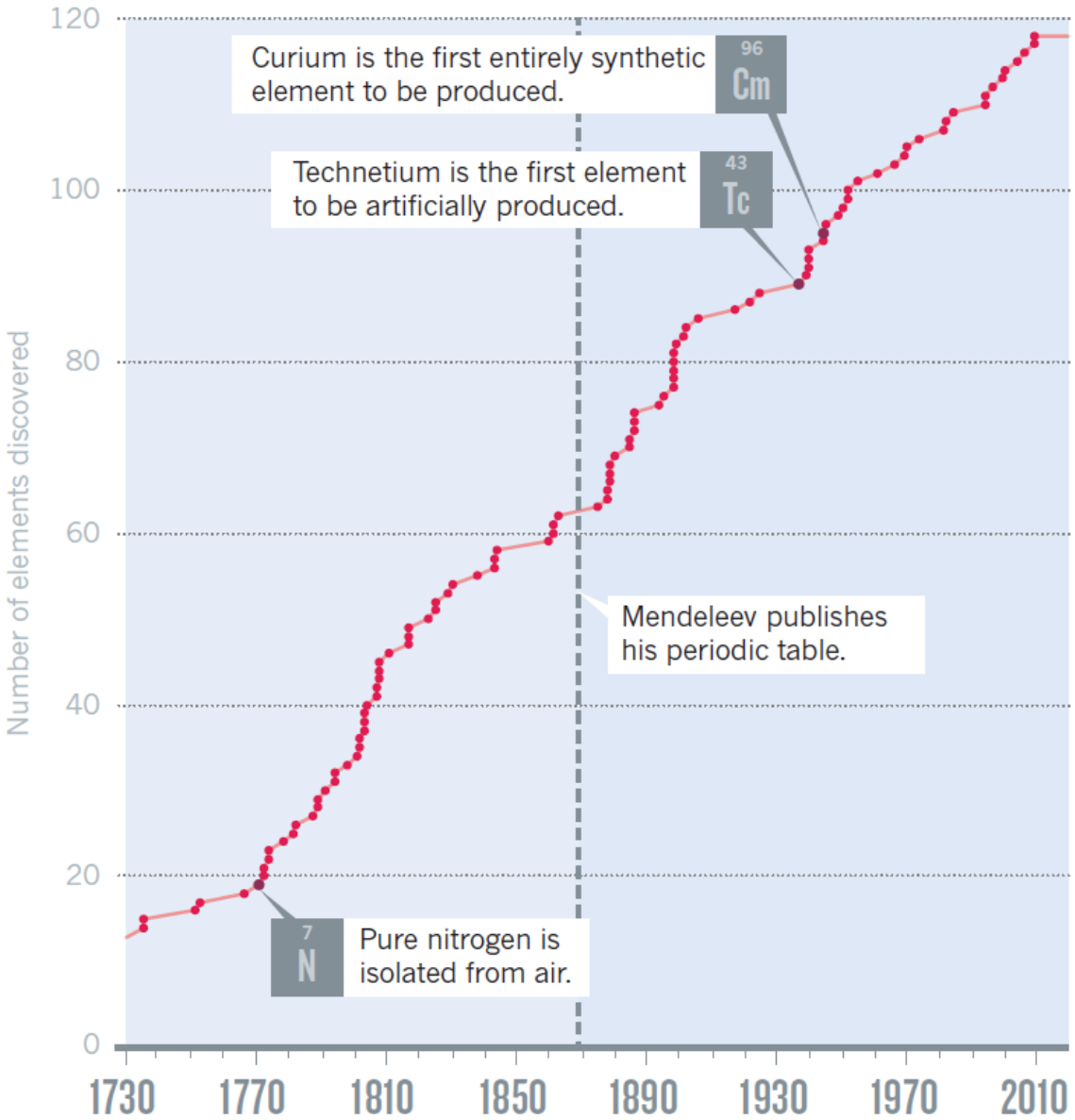
.

.

N = 92 uranio



# La Tavola di Mendeleev è ancora valida con 118 elementi?




Sg (106)

Hs (108) $HsO_4$

in accordo con gruppo tavola periodica

Db (105) non corrisponde a Ta

Og più reattivo dei gas nobili?

Nature, vol. 256 (2019) p. 553

# La Tavola di Mendeleev sotto pressione ….

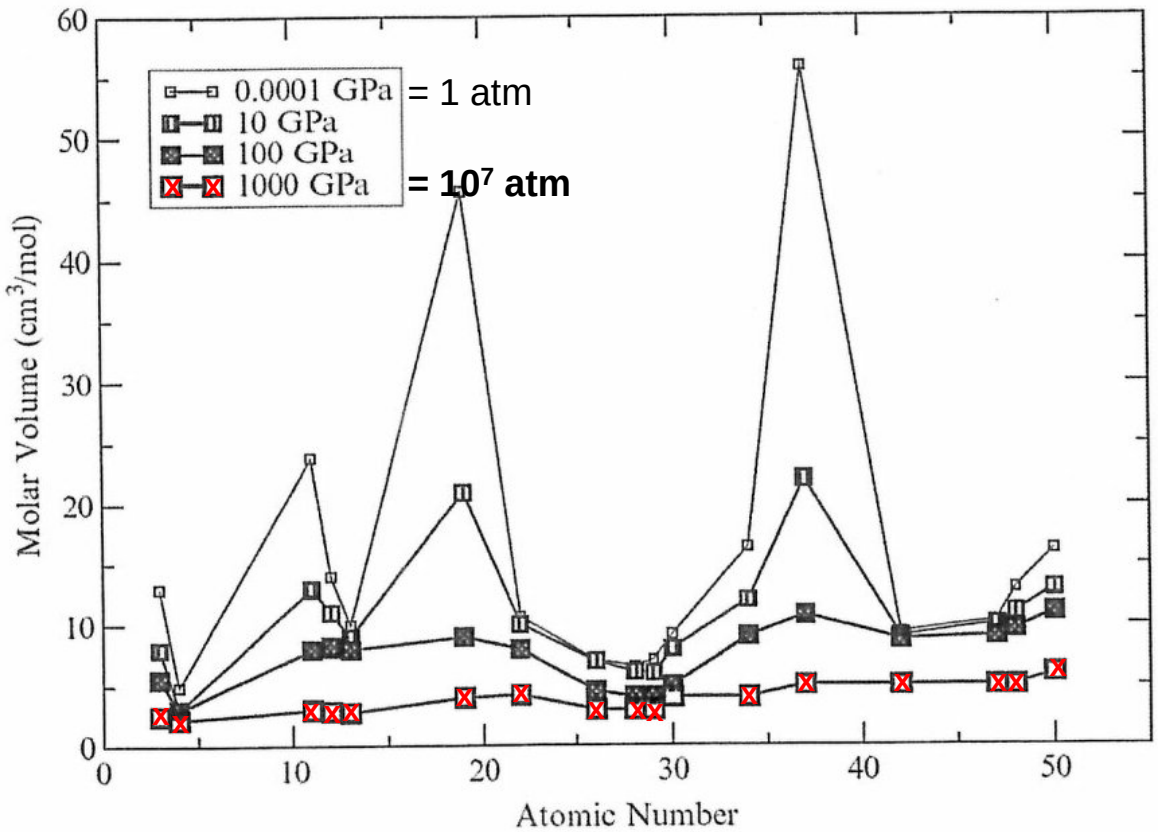
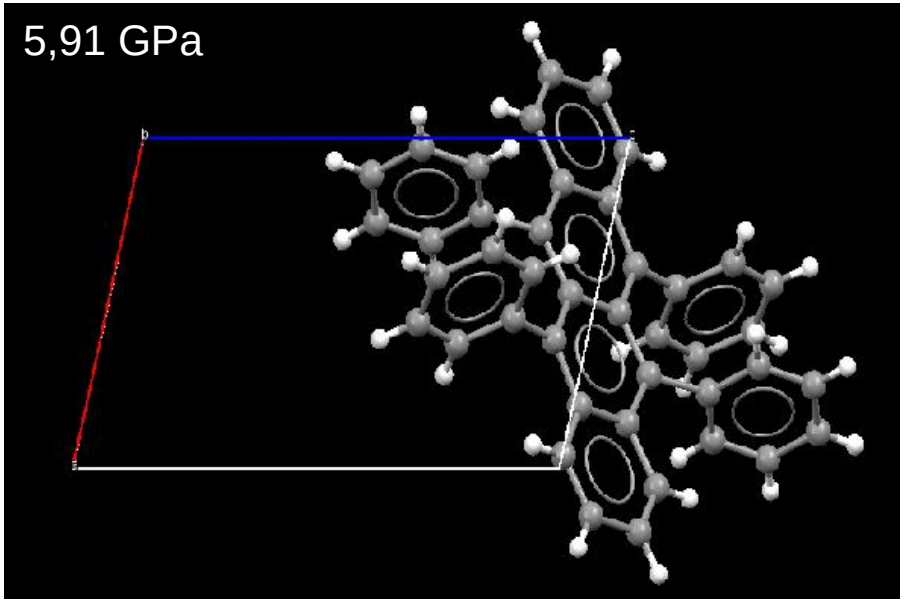



**Fig 1** : Raggi atomici (espressi come volume di una mole di elemento chimico) in funzione del numero atomico e della pressione esterna applicata (da Fig. 17.1, J. S. Tse and E. V. Boldyreva, capitolo 17 nel libro *Modern Charge-Density Analysis*, C. Gatti and P. Macchi Eds, Springer, 2012)

Giove: mantello di idrogeno 10000 K 200 GPa nucleo 36000 K 4500 GPa

diffrazione di raggi X da sincrotrone su cristallo di rubrene



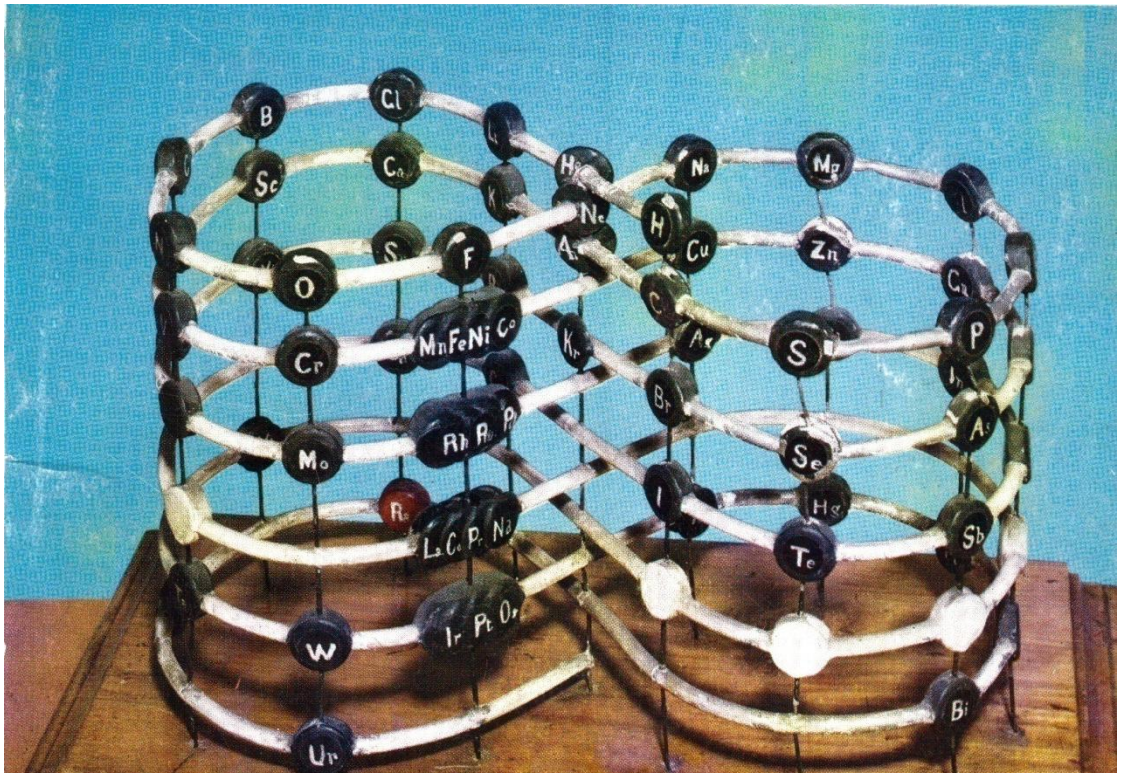

a 7.12 GPa:

variazione densità +32%

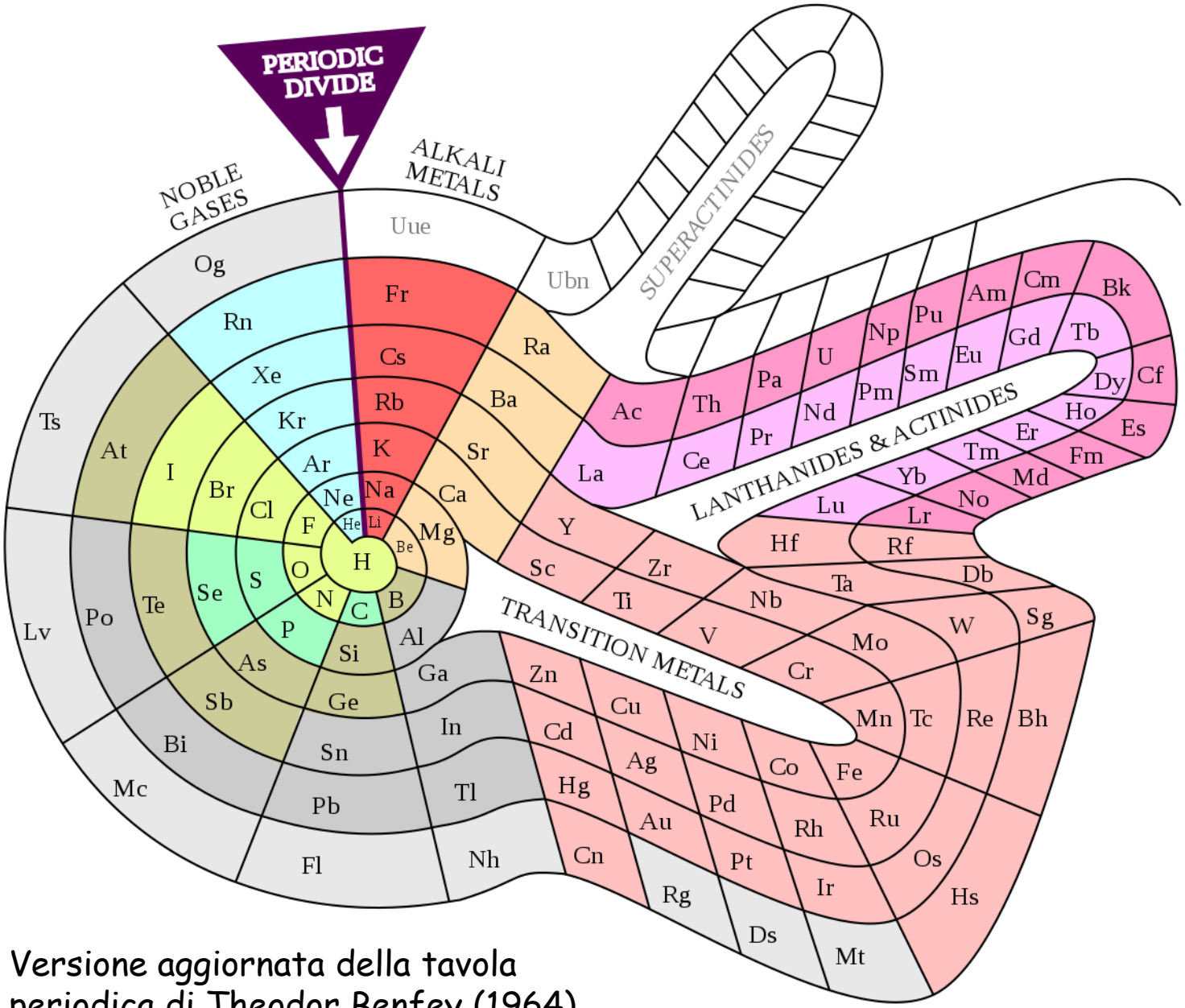
variazione volume –24%

Secondo l'astrofisico Harlow Shapley (1885-1972) la tavola periodica "*è probabilmente la più compatta e significativa compilazione di conoscenza portata a termine dall'umanità*"

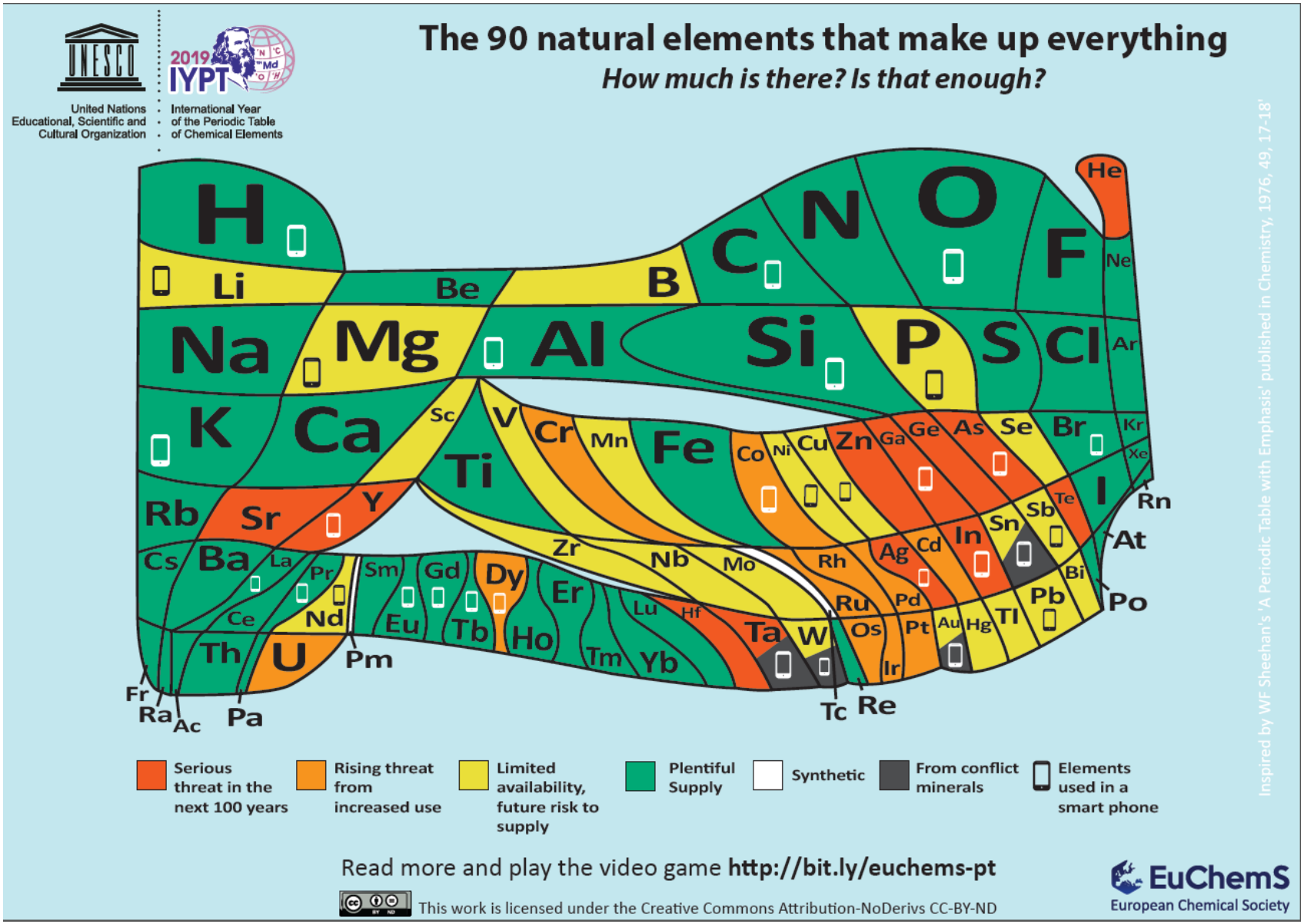
Dal 1869 a oggi sono state prodotte ca. 1000 differenti rappresentazioni grafiche della Tavola Periodica degli Elementi (E. G. Mazurs, *Graphic Representations of the Periodic System During One Hundred Years*; University of Alabama Press, 1974)




Sistema periodico di William Crookes



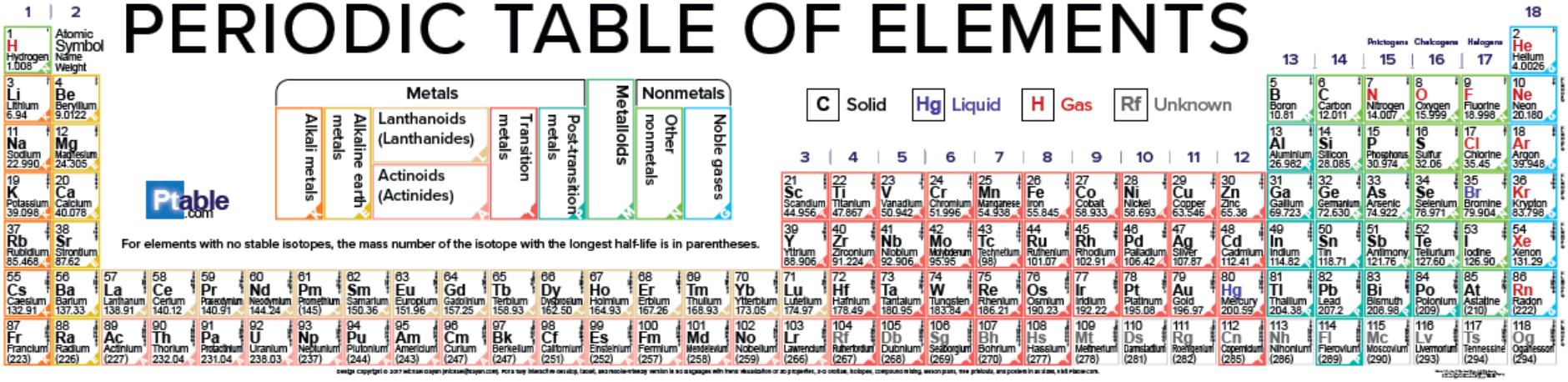

Versione aggiornata della tavola periodica di Theodor Benfey (1964)

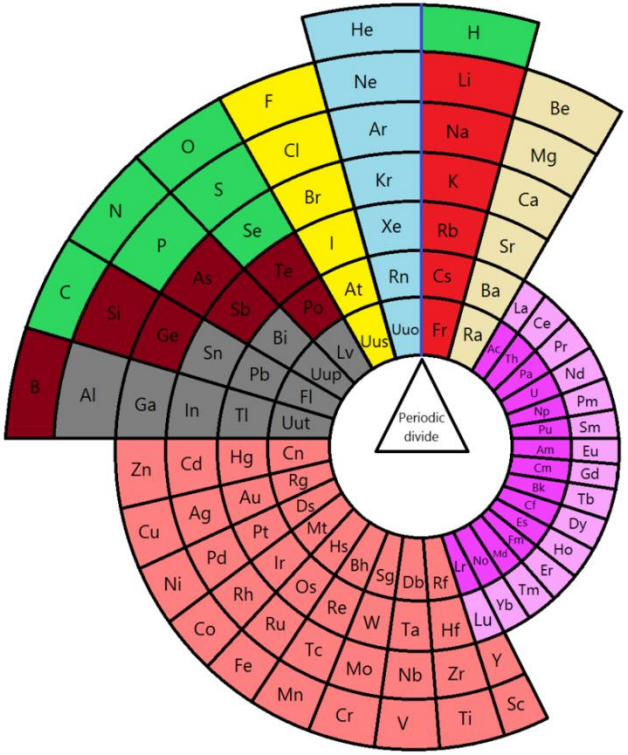


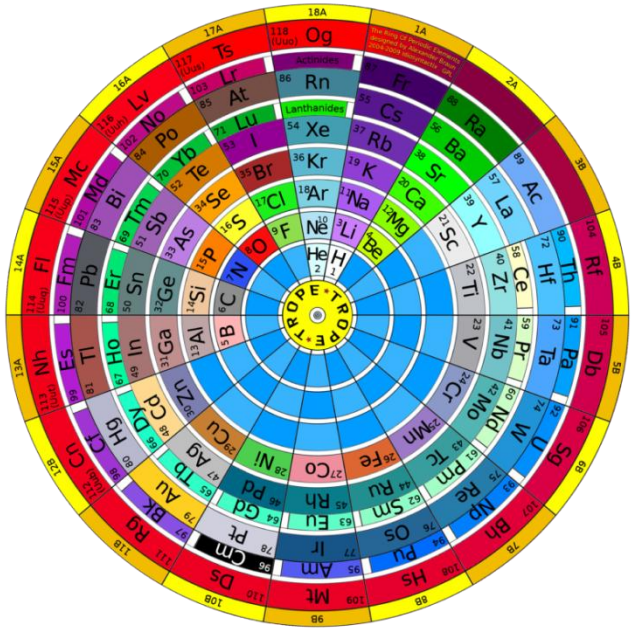

Olimpiadi 2020 Tokyo: medaglie olimpiche dal riciclo di 5 x $10^6$ telefoni cellulari

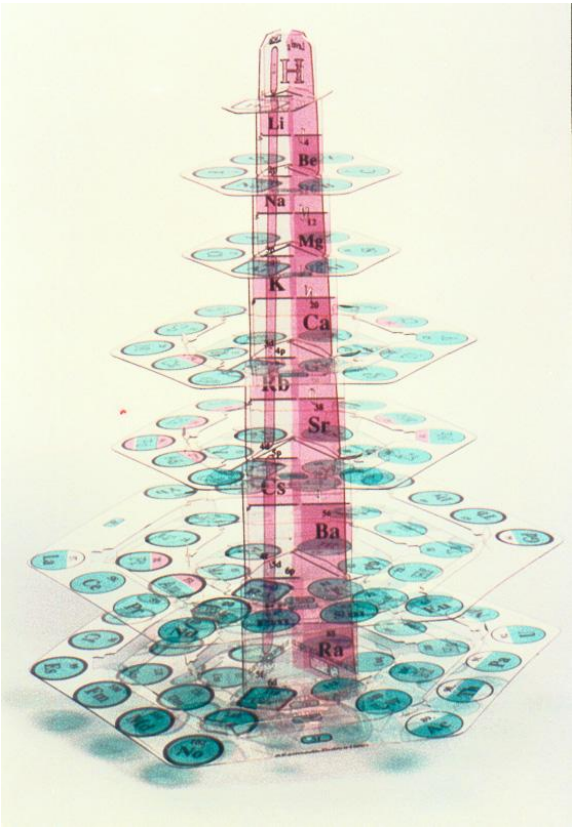
Au: 30 kg  Ag: 4000 kg  Bronzo:  2700 kg

# PERIODIC TABLE OF ELEMENTS



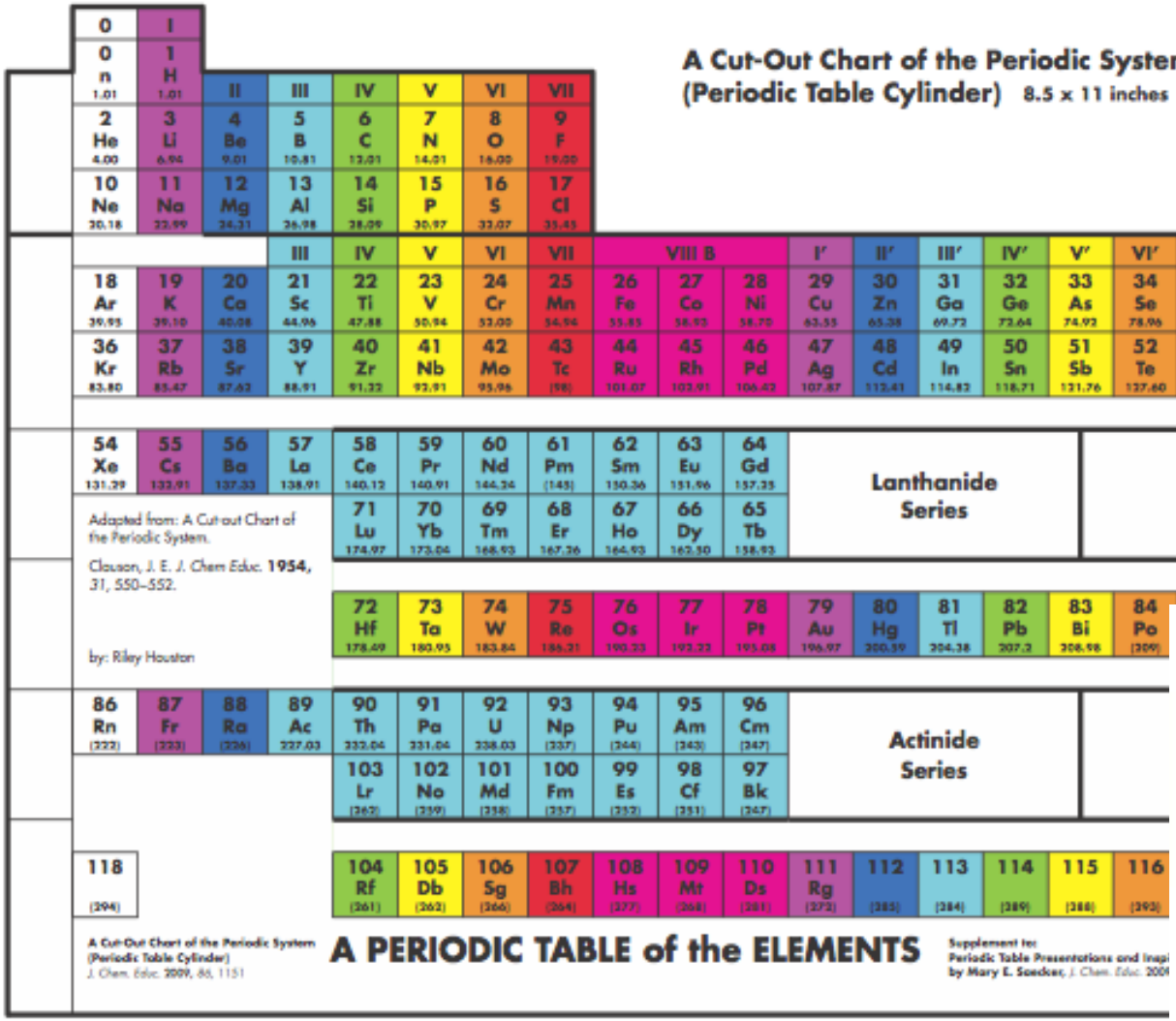



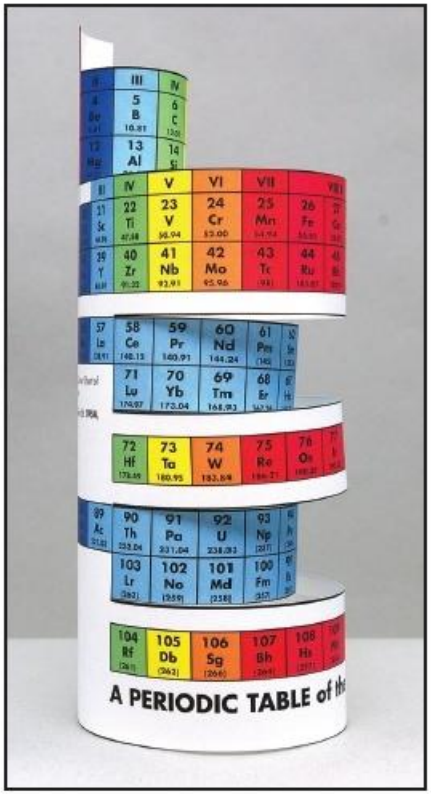



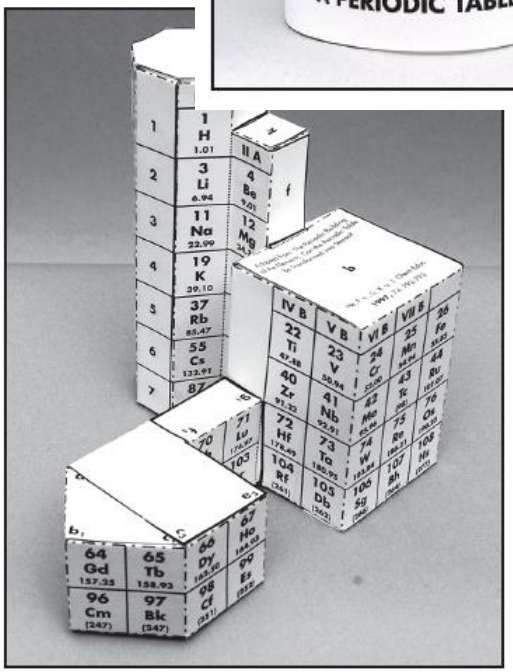


**Supplement to:** Periodic Table Presentations and Inspirations by Mary E. Saecker, *J. Chem. Educ.*, 2009, *86*, 1151.

## A Cut-Out Chart of the Periodic System (Periodic Table Cylinder) 8.5 x 11 inches



Nearly 140 years after the periodic table was introduced, new elements are still being discovered, including one just last week. Numerous redesigns of the table have been proposed: arranging it in triangles, diamonds, spirals, parallel planes and even 3D models. But none have gained the popularity of the traditional table. The most common rearrangement, a spiral, tries to illustrate hydrogen's relationship to multiple elements and to integrate a block of elements known as lanthanons and actinons. The design below, by Jeff Moran of Woodstock, N.Y., serves as the basis of an interactive Web-based program that allows users to explore the elements and their interplay. *DAVID CONSTANTINE*

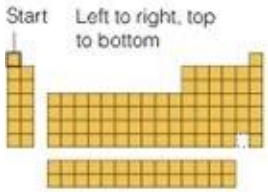
TABLE VS. SPIRAL

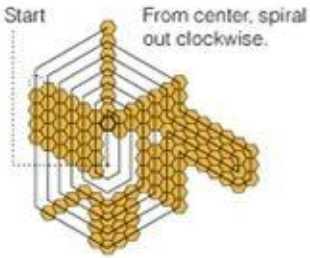
Both are organized by each element's atomic number and into three groupings called blocks, groups and periods.

**In the periodic table**, one square equals one element.

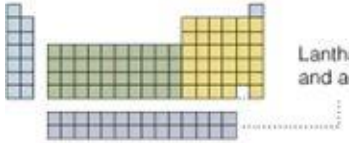
**In the periodic spiral**, one hexagon equals one element.

**Reading order**

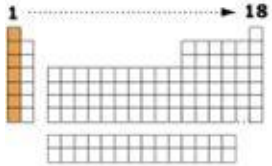


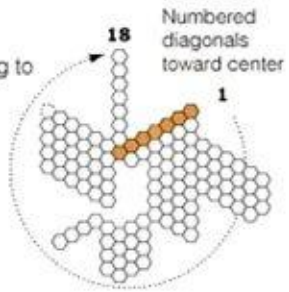




**Blocks** 4 groupings (colors) by elements' outermost electron shell configuration.

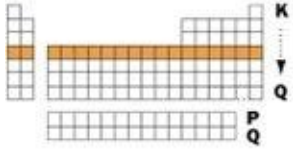


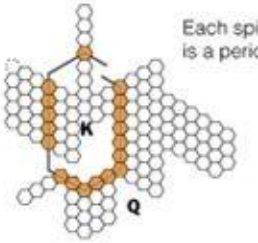

**Groups** 18 groupings according to elements' chemical reactivity.



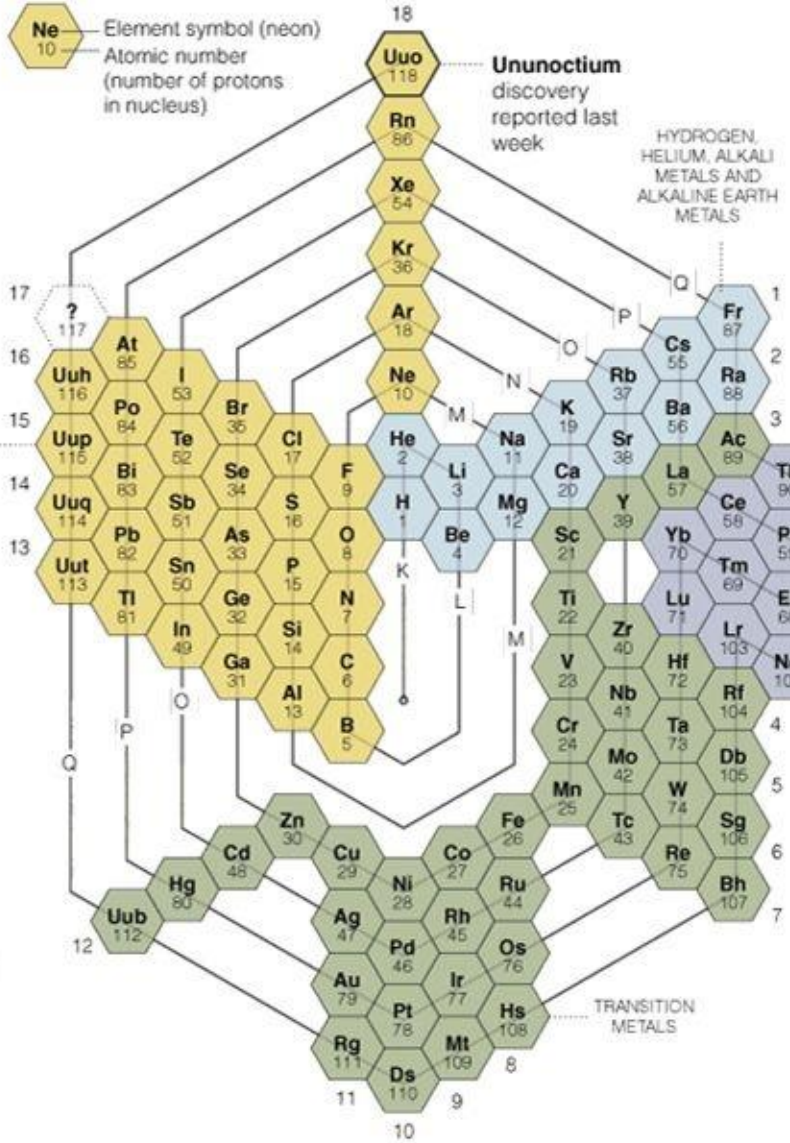




**Periods** 7 groupings (K-Q) of elements with the same number of electron shells



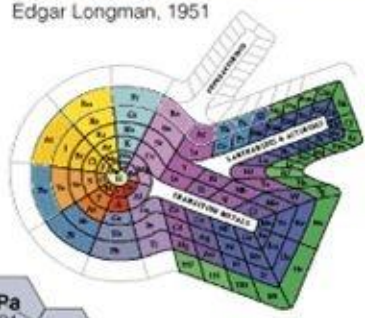

THE PERIODIC SPIRAL




Sources: Jeff Moran, Electric Prism Inc.; Dr. Mark R. Leach, www.meta-synthesis.com; Philip Stewart

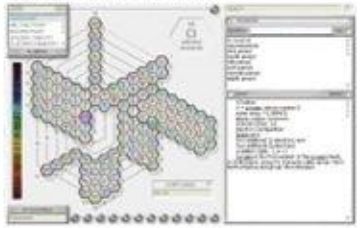
EARLY SPIRAL DESIGNS

Edgar Longman, 1951

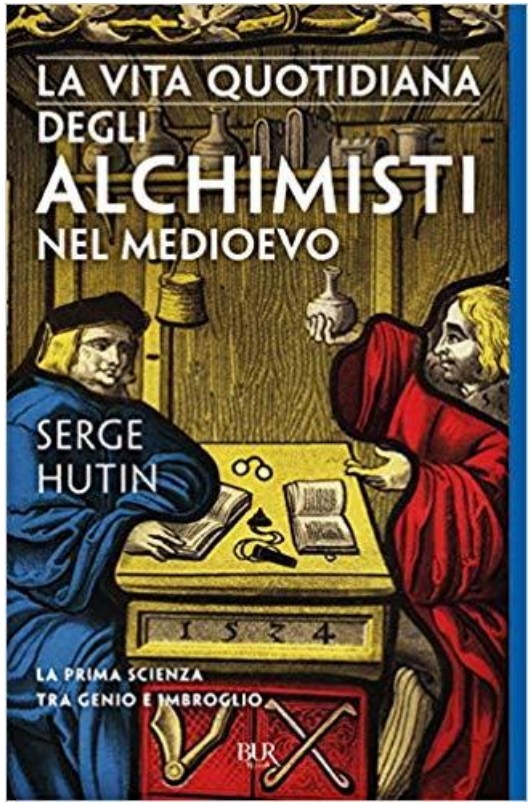


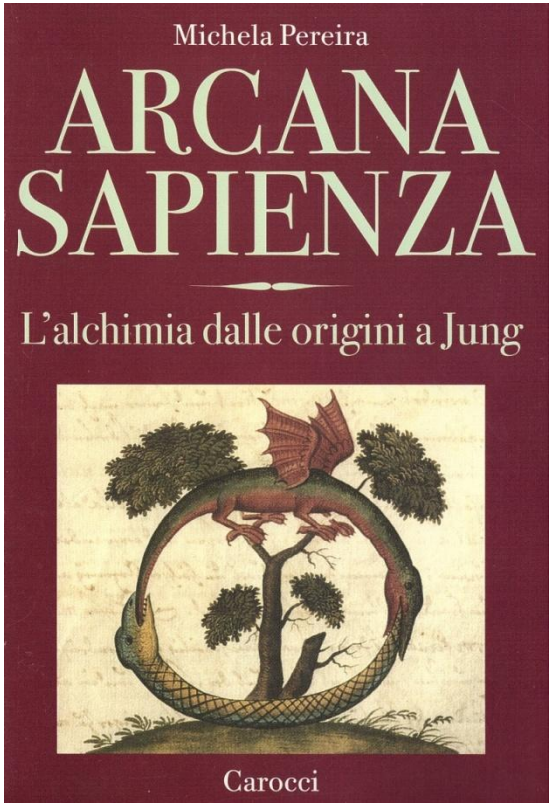
O. Theodor Benfey, 1960

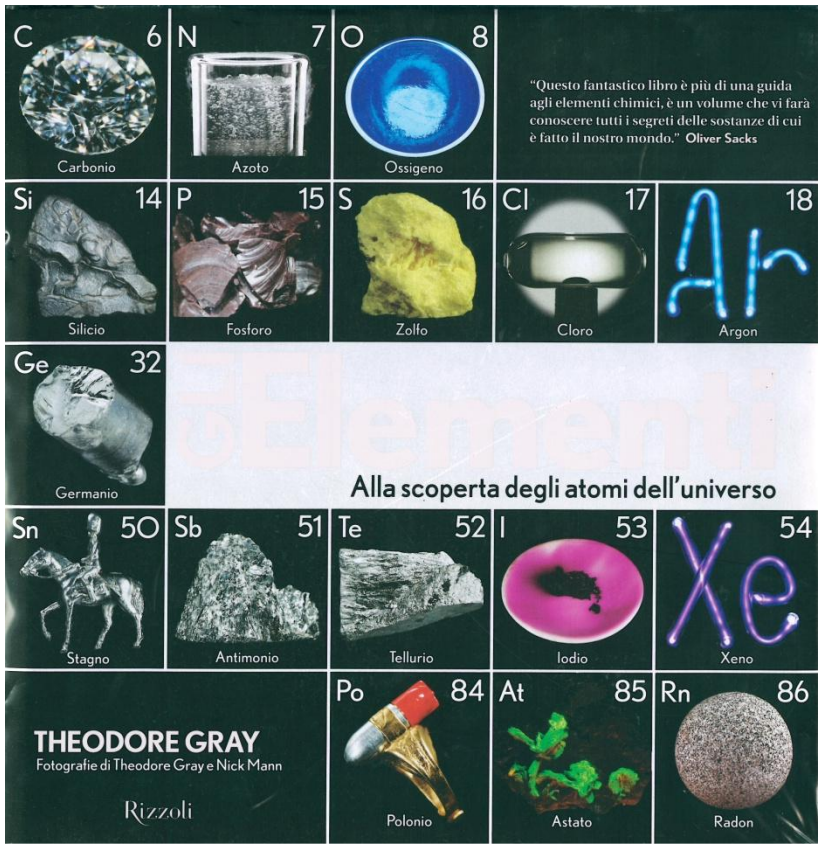
www.periodicspiral.com



The New York Times


LA VITA QUOTIDIANA
DEGLI
ALCHIMISTI
NEL MEDIOEVO
SERGE
HUTIN
LA PRIMA SCIENZA
TRA GENIO E IMBROGLIO
BUR


Michela Pereira
ARCANA
SAPIENZA
L'alchimia dalle origini a Jung
Carocci


C 6
Carbonio
N 7
Azoto
O 8
Ossigeno
"Questo fantastico libro è più di una guida agli elementi chimici, è un volume che vi farà conoscere tutti i segreti delle sostanze di cui è fatto il nostro mondo." Oliver Sacks
Si 14
Silicio
P 15
Fosforo
S 16
Zolfo
Cl 17
Cloro
18
Ar
Argon
Ge 32
Germanio
Alla scoperta degli atomi dell'universo
Sn 50
Stagno
Sb 51
Antimonio
Te 52
Tellurio
I 53
Iodio
54
Xe
Xeno
THEODORE GRAY
Fotografie di Theodore Gray e Nick Mann
Rizzoli
Po 84
Polonio
At 85
Astato
Rn 86
Radon

22
Titanio
TRA GLI ELEMENTI, IL TITANIO è uno dei più noti. Il suo nome viene associato a migliaia di prodotti, indipendentemente dal fatto che contengano titanio o meno. Se avete una mazza da golf con la parola "TITANIO" stampata in modo evidente sulla parte in metallo, pensateci due volte prima di concludere che sia davvero fatta di titanio. Alcune lo sono, altre no. Un modo facile per scoprirlo è "saggiare" la mazza con una mola: se non vedete le caratteristiche scintille bianche del titanio autentico, allora non avete dannneggiato niente di prezioso. Il titanio è sinonimo di forza, sia nel nome (dai Titani della mitologia greca), sia nei fatti (per la sua resistenza è usato nei motori dei jet, in alcuni utensili e nei razzi). È anche del tutto resistente alla ruggine e non provoca allergia, al punto che il suo uso più comune è all'interno del corpo, sotto forma di protesi per l'anca, impianti dentari e gioielli (per esempio piercing alla lingua, alle sopracciglia, e altri monili in voga presso le adolescenti).
Benché il titanio metallico sia costoso, il suo minerale è piuttosto abbondante; il costo elevato deriva infatti non dalla scarsità, ma dalla difficoltà di raffinamento. Il biossido di titanio ($TiO_2$) è ovunque. È il bianco della pittura bianca, e conferisce opacità a tutti gli altri colori di vernice, evitando che si possa vedere ciò che c'è sotto. Persino la carta di questo libro contiene biossido di titania, per evitare che la stampa di una facciata si possa vedere in trasparenza su quella retrostante.
Dai missili ai rasoi, il titanio è un componente celebre. E deve essere fonte di grande invidia per il suo vicino, il vanadio, che lavora nell'anonimato anche quando concorre a creare una lega di durezza molto maggiore di quelle del titanio.
Un anello modellato dall'autore da una barra di cristallo di titanio puro al 99,999%.
Strato di nitruro di titanio, color oro, sulle lame di un rasoio elettrico.
Parte superiore di una protesi per l'anca realizzata in titanio puro.
Dall'alto a sinistra, in senso orario: una ruota taglia fili, un cono da cassa acustica, un anello e un piercing, tutti in titanio.
Un rotore in titanio, dalla parte interna di un piccolo motore a reazione.
Due mazze da golf, una di vero titanio e una falsa. Si noti: 6061 è una lega standard dell'alluminio.
Elementare
Peso atomico 47,867
Densità 4,507
Raggio atomico 176 pm
Struttura cristallina
Ordine di riempimento degli orbitali elettronici
Spettro atomico di emissione
Stato della materia
59

16
Zolfo
IO ZOLFO È PUZZOLENTE: puzza in polvere, puzza come cristallo solido e quando brucia. È comprensibile che molte culture lo abbiano eletto a protagonista del proprio inferno (l'antico nome inglese dello zolfo è *brimstone*, pietra dell'orlo, perché si trova sul bordo dei crateri dei vulcani). Molti suoi composti sono ugualmente spiacevoli, primo tra tutti l'acido solfidrico ($H_2S$), che odora di uova marce. I composti dello zolfo rilasciati dalla combustione di carbone, petrolio e gasolio sono tra i principali responsabili dello smog cittadino, tanto è obbligatorio filtrarli dai combustibili puzzolenti. Lo zolfo è anche uno dei tre ingredienti di base della polvere da sparo, e quindi ha sulle spalle la responsabilità della morte di milioni di persone.
C'è qualcosa di positivo da dire? Beh, lo zolfo è molto *utile*. L'industria chimica ne produce e consuma grandi quantità, soprattutto in forma di acido solforico, fondamentale in numerosi processi industriali.
Nei negozi di giardinaggio potete comprare sacchi di zolfo puzzolente in polvere, per modificare il pH del terreno. (Per qualche ragione lo zolfo è generalmente considerato un materiale "organico", contrapposto alle nauseanti alternative "chimiche", benché ritengo sia una valutazione discutibile.) Lo zolfo puzza, ma si può maneggiare in grandi quantità senza pericolo. Viceversa il cloro in basse concentrazioni ha un odore quasi gradevole, che ci riconda il piacere della piscina; ma se in giro ce n'è più di un pizzico, fate attenzione.
In qualsiasi negozio di giardinaggio si trova a poco prezzo zolfo puro al 90%.
Un grande cristallo di zolfo puro nativo, che cioè si trova in natura.
La pirite ($FeS_2$).
Gli odori caratteristici dell'aglio e della cipolla provengono entrambi da composti dello zolfo.
Lo zolfo, in questa forma, gocciola da un apparecchio che toglie l'anidride solforosa, nociva, dalle emissioni delle centrali a carbone.
Zolfo da antico farmacista.
Un tempo la penicillina ($C_{16}H_{18}N_2O_4S$) era ricavata che veniva raccolta dall'urina dei pazienti per riutilizzarla. Ora questa boccetta da 100 ml, per curare i cavalli, costa 7 dollari.
In natura, lo zolfo si presenta in forma quasi pura attorno ai vulcani e alle sorgenti geotermiche.
Hi-Yield Dusting Wettable Sulfur
PEN AQUEOUS
Elementare
Peso atomico 32,065
Densità 1,960
Raggio atomico 88 pm
Struttura cristallina
Ordine di riempimento degli orbitali elettronici
Spettro atomico di emissione
Stato della materia
47

FOSCA CONTI ELGER
BARBARA FRESCH
LA BANDA dei CHIMICI
Illustrazioni di
Maria Giovanna Lanfranchi
cleup

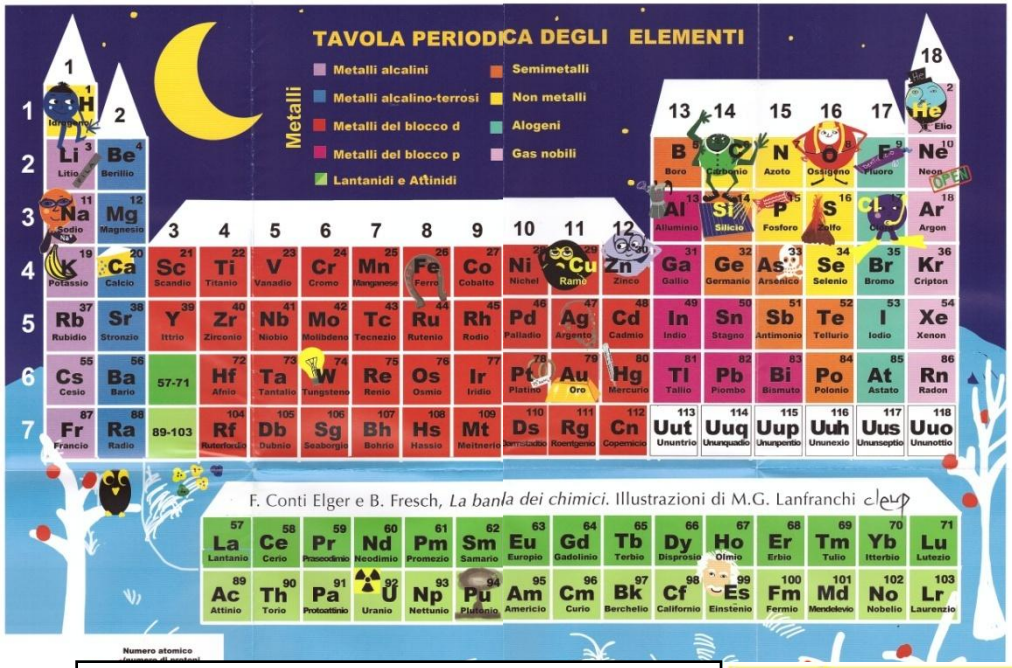
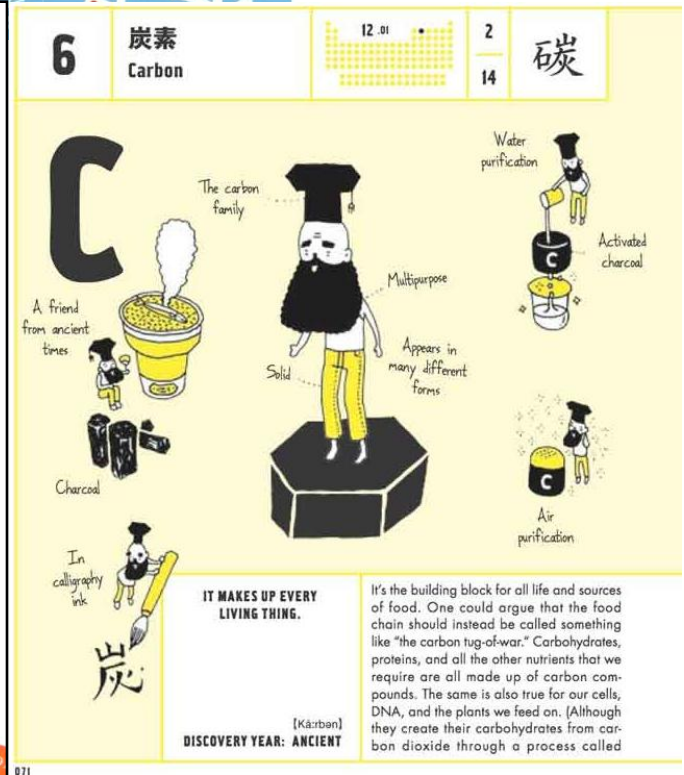
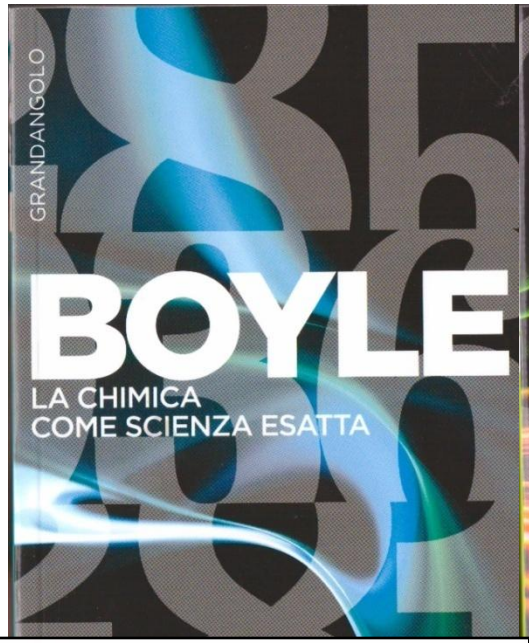
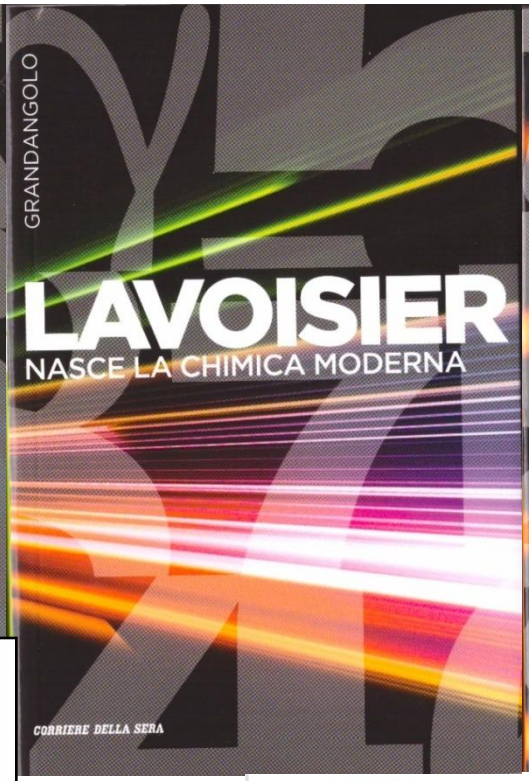


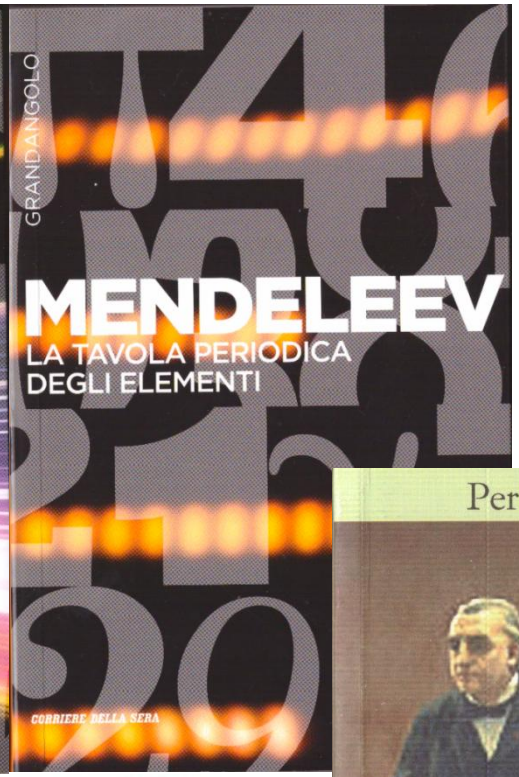
TAVOLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI
Metalli alcalini
Metalli alcalino-terrosi
Metalli del blocco d
Metalli del blocco p
Lantanidi e Attinidi
Semimetalli
Non metalli
Alogeni
Gas nobili
Metalli
F. Conti Elger e B. Fresch, La banda dei chimici. Illustrazioni di M.G. Lanfranchi cleup

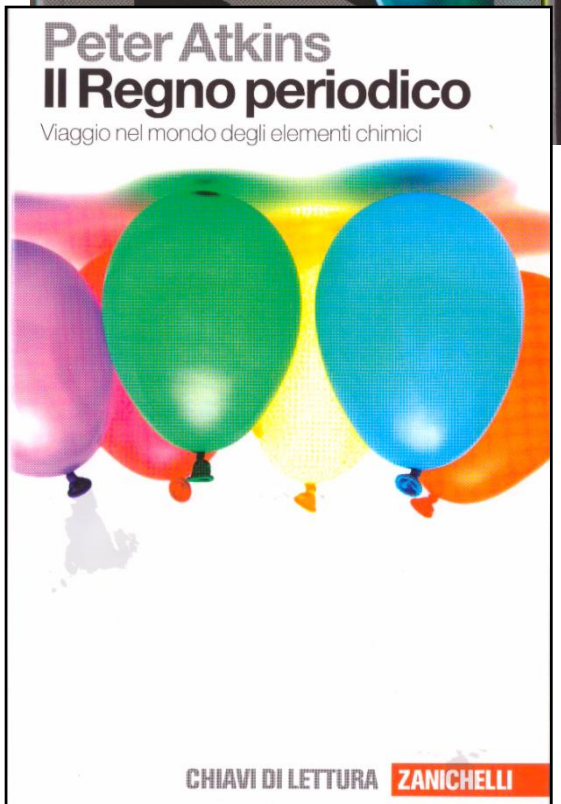
La meravigliosa vita degli elementi
La chimica come non l'avete mai vista
寄藤文平
BUNPEI YORIFUJI
VALLARDI


6
炭素
Carbon
2
14
碳
C
The carbon family
Water purification
Activated charcoal
Multipurpose
A friend from ancient times
Solid
Appears in many different forms
Charcoal
Air purification
In calligraphy ink
炭
IT MAKES UP EVERY LIVING THING.
[Kärbən]
DISCOVERY YEAR: ANCIENT
It's the building block for all life and sources of food. One could argue that the food chain should instead be called something like "the carbon tug-of-war." Carbohydrates, proteins, and all the other nutrients that we require are all made up of carbon compounds. The same is also true for our cells, DNA, and the plants we feed on. (Although they create their carbohydrates from carbon dioxide through a process called

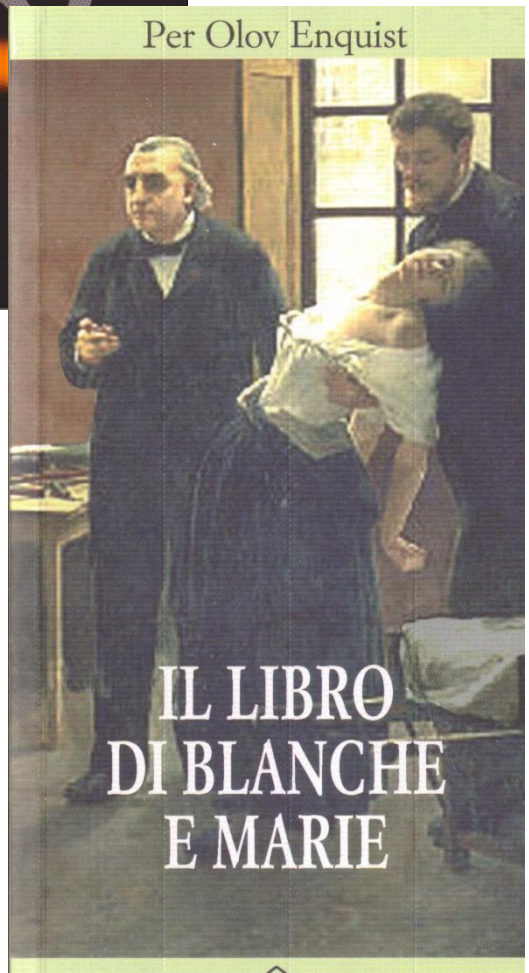

GRANDANGOLO
BOYLE
LA CHIMICA
COME SCIENZA ESATTA

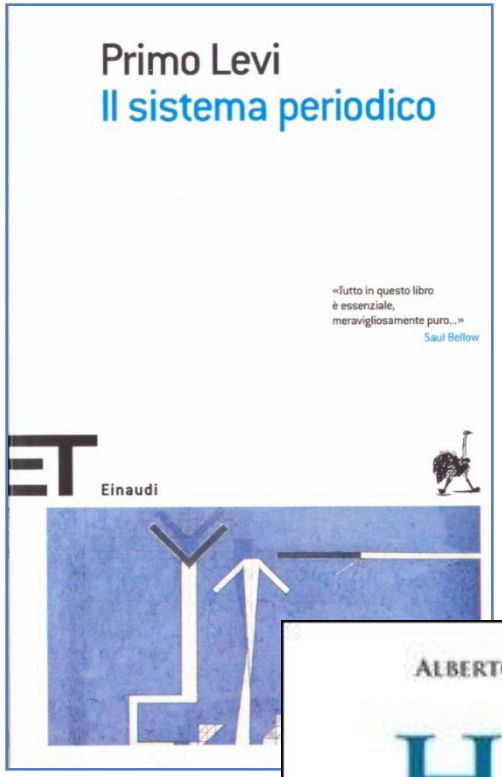

GRANDANGOLO
LAVOISIER
NASCE LA CHIMICA MODERNA
CORRIERE DELLA SERA


GRANDANGOLO
MENDELEEV
LA TAVOLA PERIODICA
DEGLI ELEMENTI
CORRIERE DELLA SERA


Peter Atkins
Il Regno periodico
Viaggio nel mondo degli elementi chimici
CHIAVI DI LETTURA
ZANICHELLI

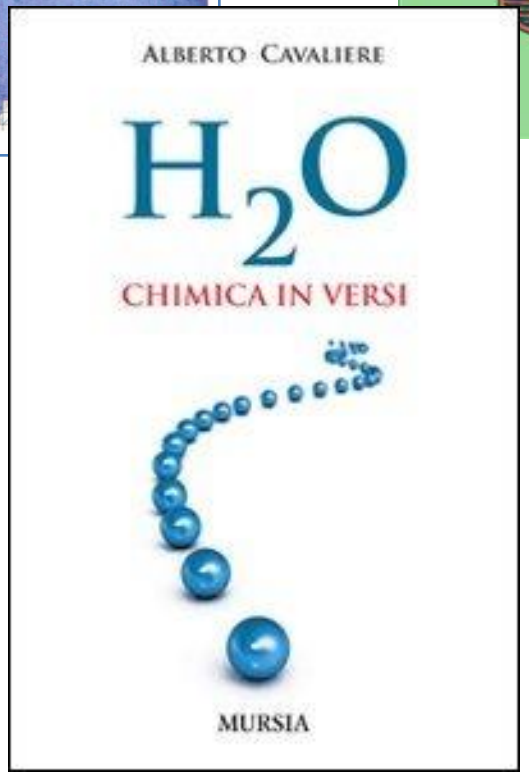
La signora
dei mondi invisibili
88
Ra
Radium
(226)
[Rn]7s2
5.2784
MICROSCOPI
HOEPLI


Per Olov Enquist
IL LIBRO
DI BLANCHE
E MARIE

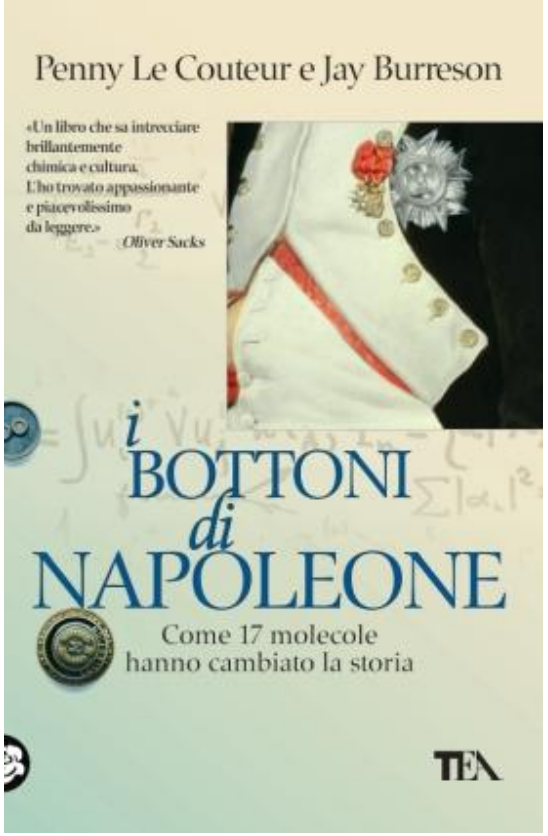

Primo Levi
Il sistema periodico
«Tutto in questo libro è essenziale, meravigliosamente puro...»
Saul Bellow
ET
Einaudi

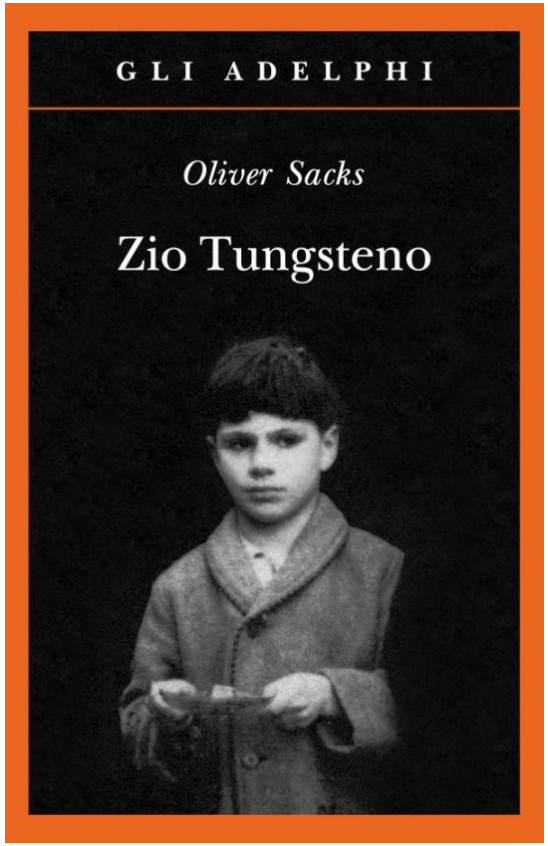
HUGH ALDERSEY-WILLIAMS
FAVOLE PERIODICHE
le VITE AVVENTUROSE
degli ELEMENTI CHIMICI
BUR saggi

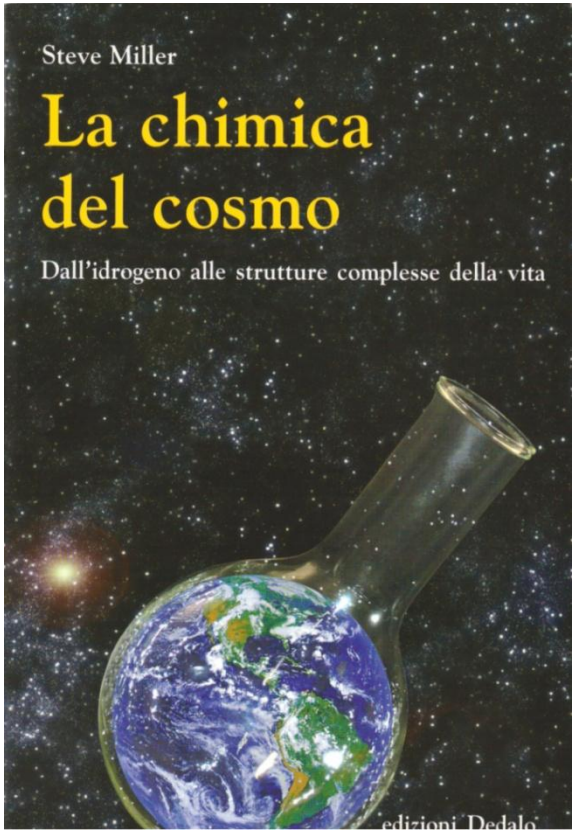
Adriano Zecchina
Alchimie nell'arte
La chimica e l'evoluzione della pittura
I DI LETTURA
ZANICHELLI

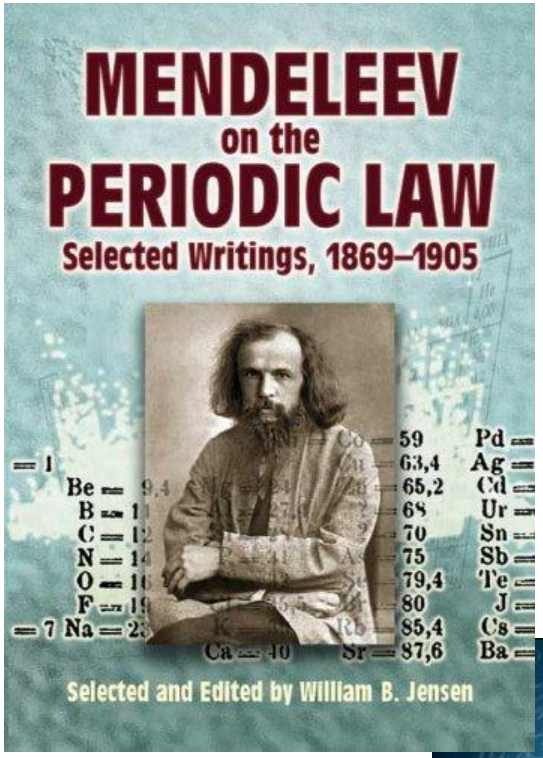

ALBERTO CAVALIERE
$H_2O$
CHIMICA IN VERSI
MURSIA

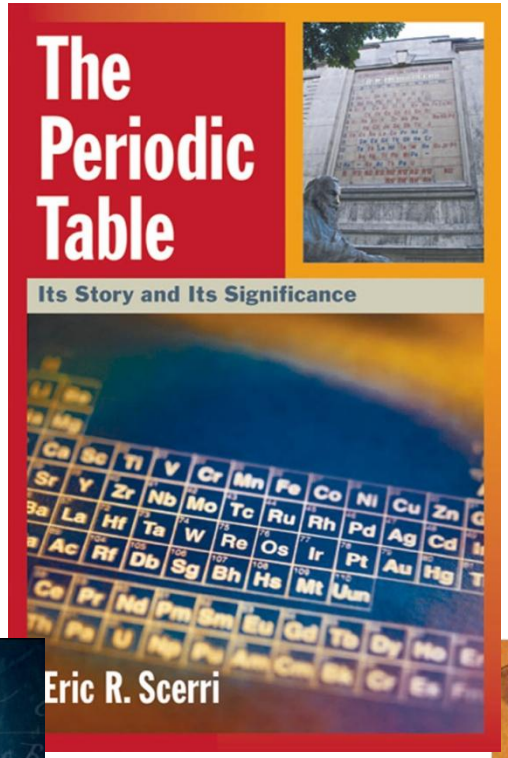
Biblioteca Scientifica 51
Sam Kean
IL CUCCHIAINO SCOMPARSO
e altre storie della tavola periodica degli elementi
ADELPHI

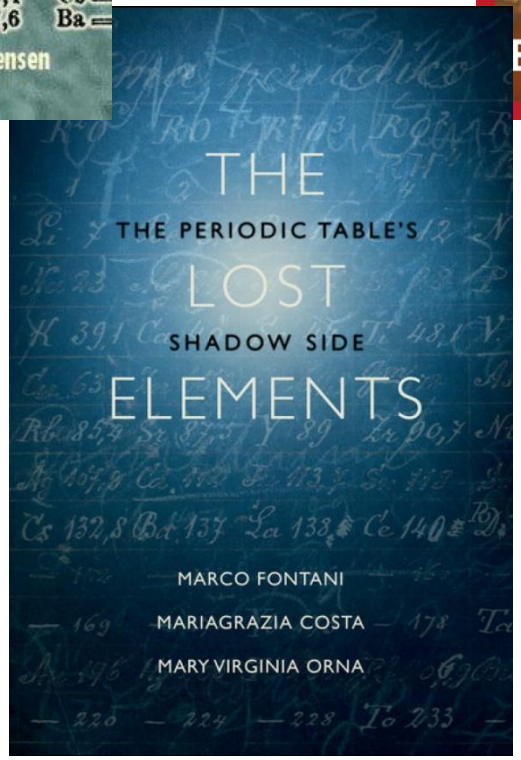

Penny Le Couteur e Jay Burreson
«Un libro che sa intrecciare brillantemente chimica e cultura. L'ho trovato appassionante e piacevolissimo da leggere.»
Oliver Sacks
i BOTTONI di NAPOLEONE
Come 17 molecole hanno cambiato la storia
TEA

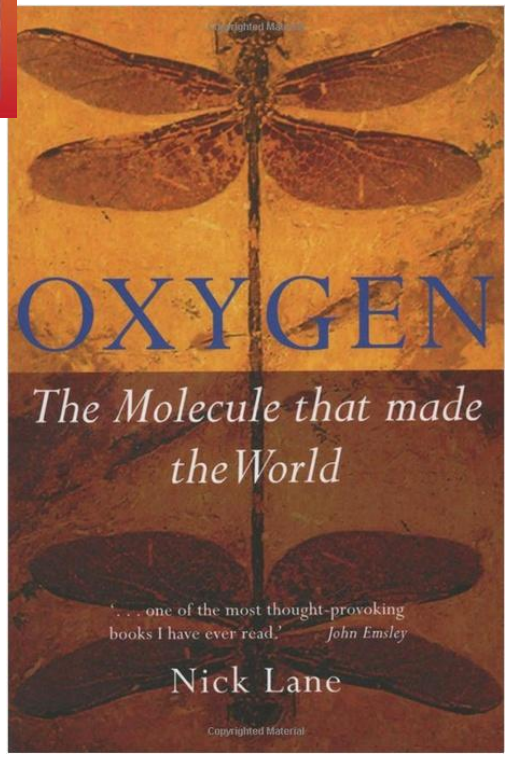

GLI ADELPHI
Oliver Sacks
Zio Tungsteno


Steve Miller
La chimica del cosmo
Dall'idrogeno alle strutture complesse della vita
edizioni Dedalo


MENDELEEV
on the
PERIODIC LAW
Selected Writings, 1869–1905
Selected and Edited by William B. Jensen


The Periodic Table
Its Story and Its Significance
Eric R. Scerri


THE
THE PERIODIC TABLE'S
LOST
SHADOW SIDE
ELEMENTS
MARCO FONTANI
MARIAGRAZIA COSTA
MARY VIRGINIA ORNA


OXYGEN
The Molecule that made the World
'. . . one of the most thought-provoking books I have ever read.' John Emsley
Nick Lane

# Lettura: Il carbonio (P. Levi)

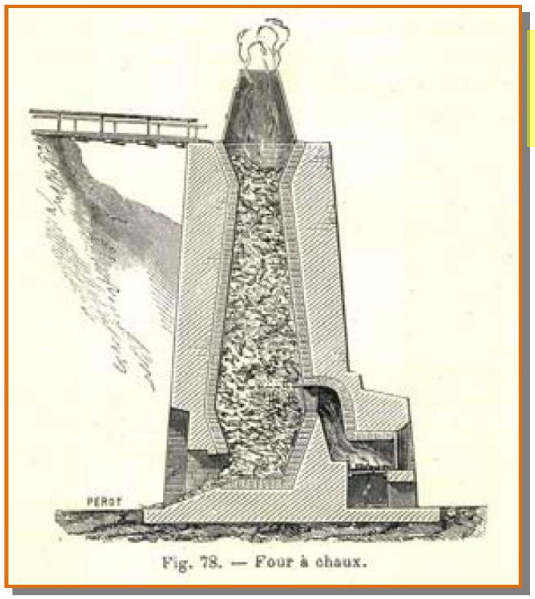
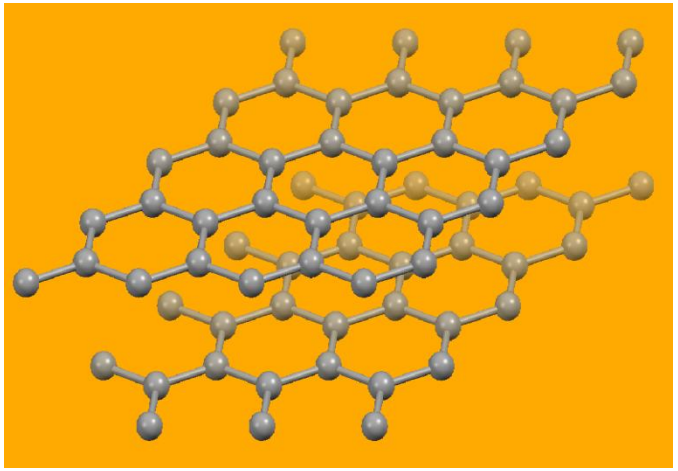
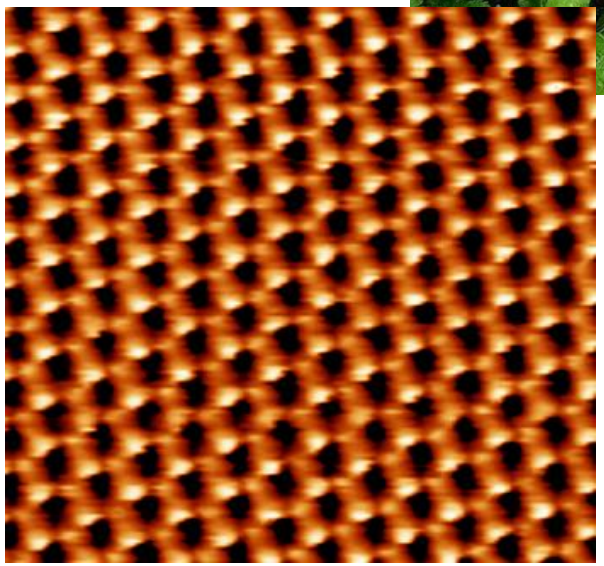



Fig. 78. — Four à chaux.

$$CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$$

Calcare — Calce viva — Anidride carbonica





Struttura superficiale della grafite "vista" con microscopia a effetto tunnel (M.Moret ca. 1992)

**Tagliare lungo la linea eliminando la cornice esterna**

# IUPAC Periodic Table of the Elements

Key:

| | |
|---|---|
| atomic number | |
| **Symbol** | |
| name | |
| conventional atomic weight | |
| standard atomic weight | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1<br>**H**<br>hydrogen<br>1.008<br>[1.0078, 1.0082] | | | | | | | | | | | | | | | | | 2<br>**He**<br>helium<br>4.0026 |
| 3<br>**Li**<br>lithium<br>6.94<br>[6.938, 6.997] | 4<br>**Be**<br>beryllium<br>9.0122 | | | | | | | | | | | 5<br>**B**<br>boron<br>10.81<br>[10.806, 10.821] | 6<br>**C**<br>carbon<br>12.011<br>[12.009, 12.012] | 7<br>**N**<br>nitrogen<br>14.007<br>[14.006, 14.008] | 8<br>**O**<br>oxygen<br>15.999<br>[15.999, 16.000] | 9<br>**F**<br>fluorine<br>18.998 | 10<br>**Ne**<br>neon<br>20.180 |
| 11<br>**Na**<br>sodium<br>22.990 | 12<br>**Mg**<br>magnesium<br>24.305<br>[24.304, 24.307] | | | | | | | | | | | 13<br>**Al**<br>aluminium<br>26.982 | 14<br>**Si**<br>silicon<br>28.085<br>[28.084, 28.086] | 15<br>**P**<br>phosphorus<br>30.974 | 16<br>**S**<br>sulfur<br>32.06<br>[32.059, 32.076] | 17<br>**Cl**<br>chlorine<br>35.45<br>[35.446, 35.457] | 18<br>**Ar**<br>argon<br>39.948 |
| 19<br>**K**<br>potassium<br>39.098 | 20<br>**Ca**<br>calcium<br>40.078(4) | 21<br>**Sc**<br>scandium<br>44.956 | 22<br>**Ti**<br>titanium<br>47.867 | 23<br>**V**<br>vanadium<br>50.942 | 24<br>**Cr**<br>chromium<br>51.996 | 25<br>**Mn**<br>manganese<br>54.938 | 26<br>**Fe**<br>iron<br>55.845(2) | 27<br>**Co**<br>cobalt<br>58.933 | 28<br>**Ni**<br>nickel<br>58.693 | 29<br>**Cu**<br>copper<br>63.546(3) | 30<br>**Zn**<br>zinc<br>65.38(2) | 31<br>**Ga**<br>gallium<br>69.723 | 32<br>**Ge**<br>germanium<br>72.630(8) | 33<br>**As**<br>arsenic<br>74.922 | 34<br>**Se**<br>selenium<br>78.971(8) | 35<br>**Br**<br>bromine<br>79.904<br>[79.901, 79.907] | 36<br>**Kr**<br>krypton<br>83.798(2) |
| 37<br>**Rb**<br>rubidium<br>85.468 | 38<br>**Sr**<br>strontium<br>87.62 | 39<br>**Y**<br>yttrium<br>88.906 | 40<br>**Zr**<br>zirconium<br>91.224(2) | 41<br>**Nb**<br>niobium<br>92.906 | 42<br>**Mo**<br>molybdenum<br>95.95 | 43<br>**Tc**<br>technetium | 44<br>**Ru**<br>ruthenium<br>101.07(2) | 45<br>**Rh**<br>rhodium<br>102.91 | 46<br>**Pd**<br>palladium<br>106.42 | 47<br>**Ag**<br>silver<br>107.87 | 48<br>**Cd**<br>cadmium<br>112.41 | 49<br>**In**<br>indium<br>114.82 | 50<br>**Sn**<br>tin<br>118.71 | 51<br>**Sb**<br>antimony<br>121.76 | 52<br>**Te**<br>tellurium<br>127.60(3) | 53<br>**I**<br>iodine<br>126.90 | 54<br>**Xe**<br>xenon<br>131.29 |
| 55<br>**Cs**<br>caesium<br>132.91 | 56<br>**Ba**<br>barium<br>137.33 | 57-71<br>lanthanoids | 72<br>**Hf**<br>hafnium<br>178.49(2) | 73<br>**Ta**<br>tantalum<br>180.95 | 74<br>**W**<br>tungsten<br>183.84 | 75<br>**Re**<br>rhenium<br>186.21 | 76<br>**Os**<br>osmium<br>190.23(3) | 77<br>**Ir**<br>iridium<br>192.22 | 78<br>**Pt**<br>platinum<br>195.08 | 79<br>**Au**<br>gold<br>196.97 | 80<br>**Hg**<br>mercury<br>200.59 | 81<br>**Tl**<br>thallium<br>204.38<br>[204.38, 204.39] | 82<br>**Pb**<br>lead<br>207.2 | 83<br>**Bi**<br>bismuth<br>208.98 | 84<br>**Po**<br>polonium | 85<br>**At**<br>astatine | 86<br>**Rn**<br>radon |
| 87<br>**Fr**<br>francium | 88<br>**Ra**<br>radium | 89-103<br>actinoids | 104<br>**Rf**<br>rutherfordium | 105<br>**Db**<br>dubnium | 106<br>**Sg**<br>seaborgium | 107<br>**Bh**<br>bohrium | 108<br>**Hs**<br>hassium | 109<br>**Mt**<br>meitnerium | 110<br>**Ds**<br>darmstadtium | 111<br>**Rg**<br>roentgenium | 112<br>**Cn**<br>copernicium | 113<br>**Nh**<br>nihonium | 114<br>**Fl**<br>flerovium | 115<br>**Mc**<br>moscovium | 116<br>**Lv**<br>livermorium | 117<br>**Ts**<br>tennessine | 118<br>**Og**<br>oganesson |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 57<br>**La**<br>lanthanum<br>138.91 | 58<br>**Ce**<br>cerium<br>140.12 | 59<br>**Pr**<br>praseodymium<br>140.91 | 60<br>**Nd**<br>neodymium<br>144.24 | 61<br>**Pm**<br>promethium | 62<br>**Sm**<br>samarium<br>150.36(2) | 63<br>**Eu**<br>europium<br>151.96 | 64<br>**Gd**<br>gadolinium<br>157.25(3) | 65<br>**Tb**<br>terbium<br>158.93 | 66<br>**Dy**<br>dysprosium<br>162.50 | 67<br>**Ho**<br>holmium<br>164.93 | 68<br>**Er**<br>erbium<br>167.26 | 69<br>**Tm**<br>thulium<br>168.93 | 70<br>**Yb**<br>ytterbium<br>173.05 | 71<br>**Lu**<br>lutetium<br>174.97 |
| 89<br>**Ac**<br>actinium | 90<br>**Th**<br>thorium<br>232.04 | 91<br>**Pa**<br>protactinium<br>231.04 | 92<br>**U**<br>uranium<br>238.03 | 93<br>**Np**<br>neptunium | 94<br>**Pu**<br>plutonium | 95<br>**Am**<br>americium | 96<br>**Cm**<br>curium | 97<br>**Bk**<br>berkelium | 98<br>**Cf**<br>californium | 99<br>**Es**<br>einsteinium | 100<br>**Fm**<br>fermium | 101<br>**Md**<br>mendelevium | 102<br>**No**<br>nobelium | 103<br>**Lr**<br>lawrencium |

Incollare il bordo destro sotto il margine sinistro ponendo He e Rn prima di Li e Fr

## *Un chimico*, Fabrizio De Andrè (1971, *Non al denaro non all'amore nè al cielo*)

*Solo la morte m'ha portato in collina*
*un corpo fra i tanti a dar fosforo all'aria*
*per bivacchi di fuochi che dicono fatui*
*che non lasciano cenere, non sciolgon la brina.*
*Solo la morte m'ha portato in collina.*

*Da chimico un giorno avevo il potere*
*di sposare gli elementi e di farli reagire,*
*ma gli uomini mai mi riuscì di capire*
*perché si combinassero attraverso l'amore.*
*Affidando ad un gioco la gioia e il dolore.*

*Guardate il sorriso guardate il colore*
*come giocan sul viso di chi cerca l'amore:*
*ma lo stesso sorriso lo stesso colore*
*dove sono sul viso di chi ha avuto l'amore.*
*Dove sono sul viso di chi ha avuto l'amore.*

*È strano andarsene senza soffrire,*
*senza un volto di donna da dover ricordare.*
*Ma è forse diverso il vostro morire*
*voi che uscite all'amore che cedete all'aprile.*
*Cosa c'è di diverso nel vostro morire.*

*Primavera non bussa lei entra sicura*
*come il fumo lei penetra in ogni fessura*
*ha le labbra di carne i capelli di grano*
*che paura, che voglia che ti prenda per mano.*
*Che paura, che voglia che ti porti lontano.*

*Ma guardate l'idrogeno tacere nel mare*
*guardate l'ossigeno al suo fianco dormire:*
*soltanto una legge che io riesco a capire*
*ha potuto sposarli senza farli scoppiare.*
*Soltanto la legge che io riesco a capire.*

*Fui chimico e, no, non mi volli sposare.*
*Non sapevo con chi e chi avrei generato:*
*Son morto in un esperimento sbagliato*
*proprio come gli idioti che muoion d'amore.*
*E qualcuno dirà che c'è un modo migliore.*

## *Trainor il farmacista*, E. L. Masters (1915, *Antologia di Spoon River)*

*Soltanto un chimico può dire, e non sempre*
*che cosa uscirà dalla combinazione*
*di fluidi o di solidi.*
*E chi può dire*
*come uomini e donne reagiranno*
*fra loro, e quali bambini nasceranno?*
*C'erano Benjamin Pantier e sua moglie,*
*buoni in se stessi, ma cattivi l'un l'altro:*
*ossigeno lui, lei idrogeno,*
*il figlio un fuoco devastatore.*
*Io, Trainor, il farmacista, mescolatore di*
*elementi chimici,*
*morto mentre facevo un esperimento,*
*vissi senza sposarmi.*

https://iupac.org/united-nations-proclaims-international-year-periodic-table-chemical-elements/

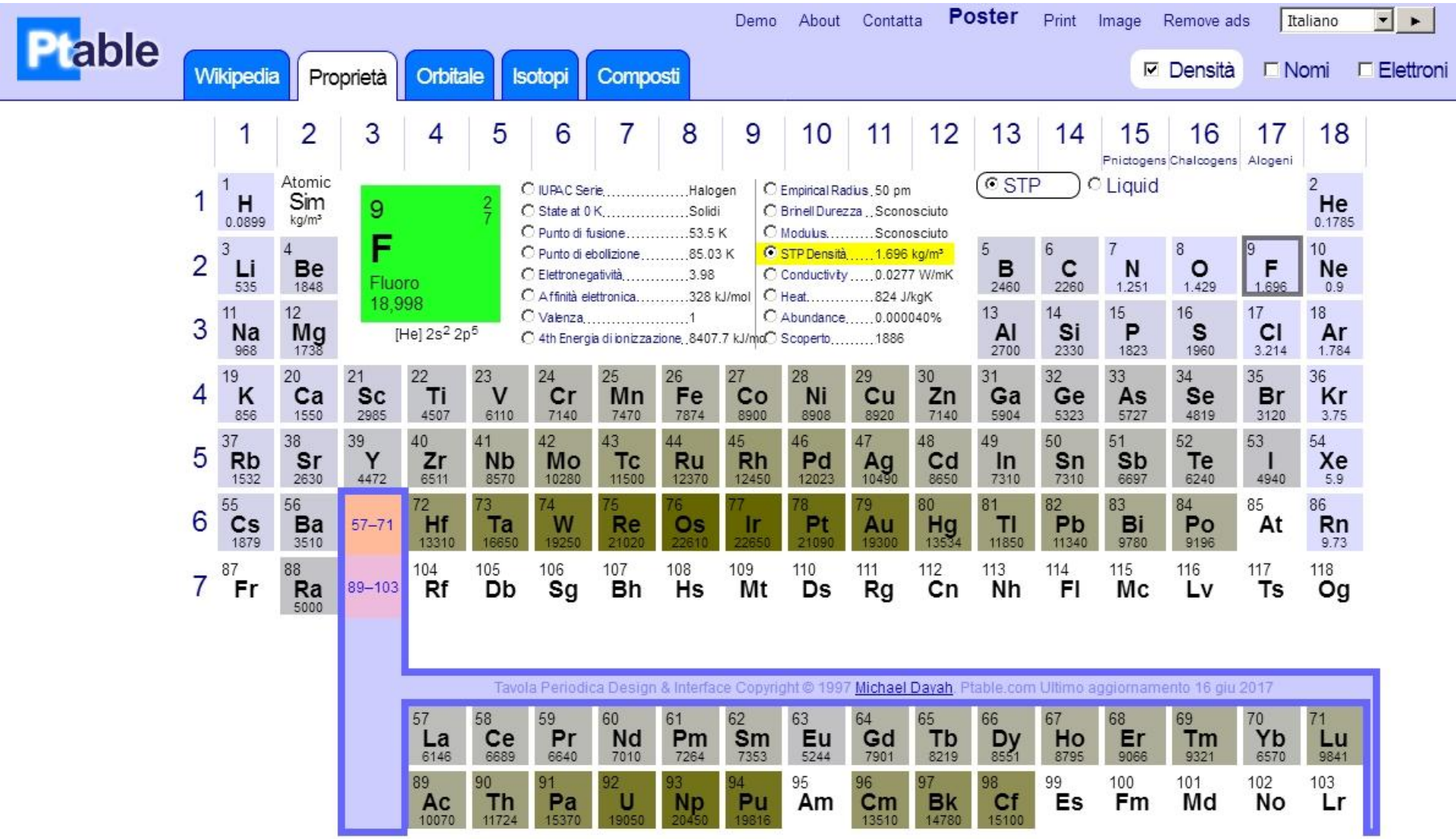
## The United Nations Proclaims the International Year of the Periodic Table of Chemical Elements

On 20 December 2017, the United Nations (UN) General Assembly has proclaimed 2019 as the International Year of the Periodic Table of Chemical Elements (IYPT 2019). In proclaiming an International Year focusing on the Periodic Table of Chemical Elements and its applications, the United Nations has recognized the importance of raising global awareness of how chemistry promotes sustainable development and provides solutions to global challenges in energy, education, agriculture and health. Indeed, the resolution was adopted as part of a more general Agenda item on Science and technology for development.

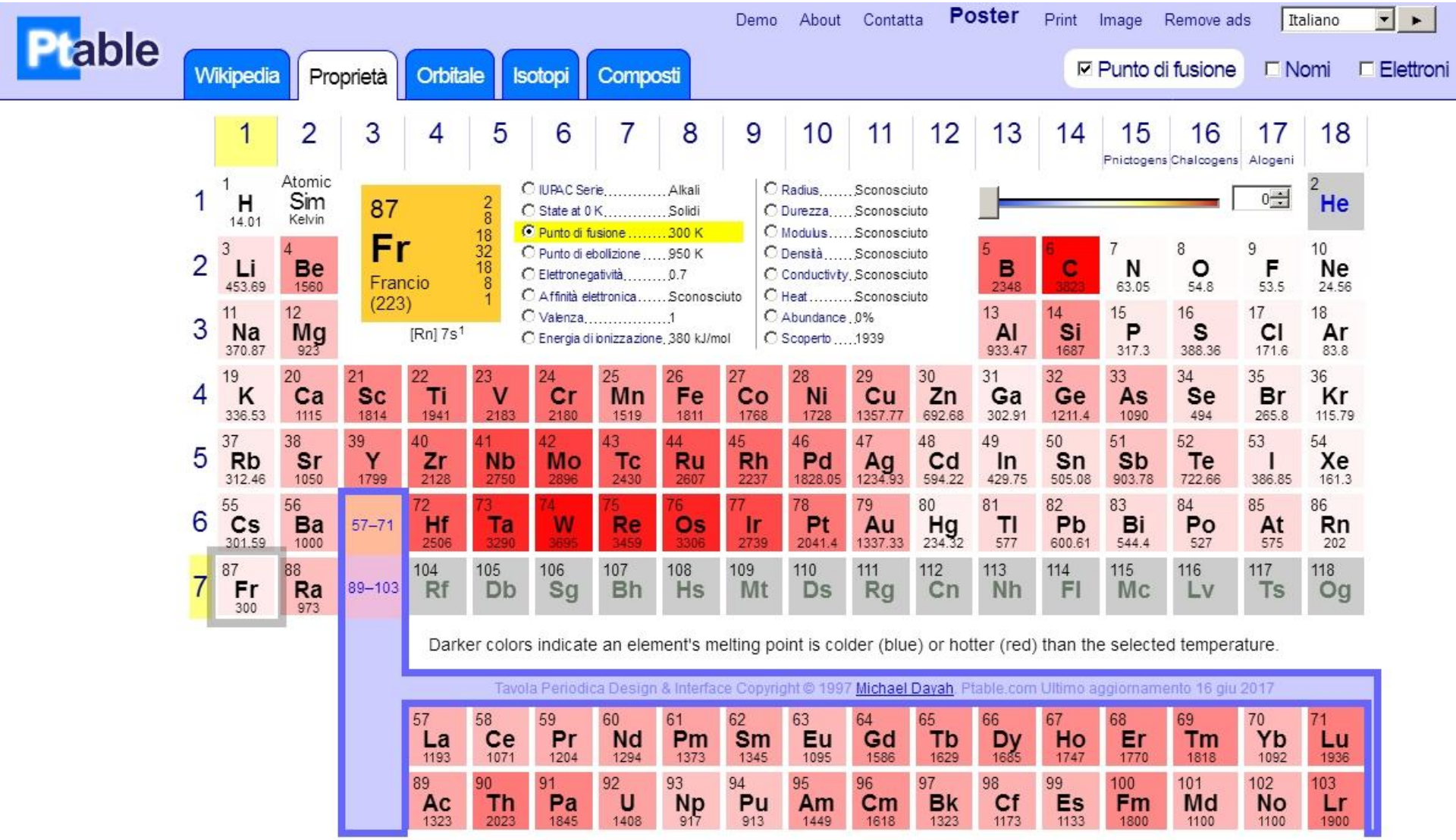
The development of the Periodic Table of the Elements is one of the most significant achievements in science and a uniting scientific concept, with broad implications in **Astronomy, Chemistry, Physics, Biology and other natural sciences**. The International Year of the Periodic Table of Chemical Elements in 2019 will coincide with the 150th anniversary of the discovery of the Periodic System by Dmitry Mendeleev in 1869. It is a unique tool enabling scientists to predict the appearance and properties of matter on Earth and in the Universe. Many chemical elements are crucial to enhance the value and performance of products necessary for humankind, our planet, and industrial endeavors. The four most recent elements (115-118) were fully added into the Periodic Table, with the approval of their names and symbols, on 28 November 2016.

***It is critical that the brightest young minds continue to be attracted to chemistry and physics in order to ensure the next generation of scientists, engineers, and innovators in this field. Particular areas where the Periodic Table and its understanding have had a revolutionary impact are in nuclear medicine, the study of chemical elements and compounds in space and the prediction of novel materials***.

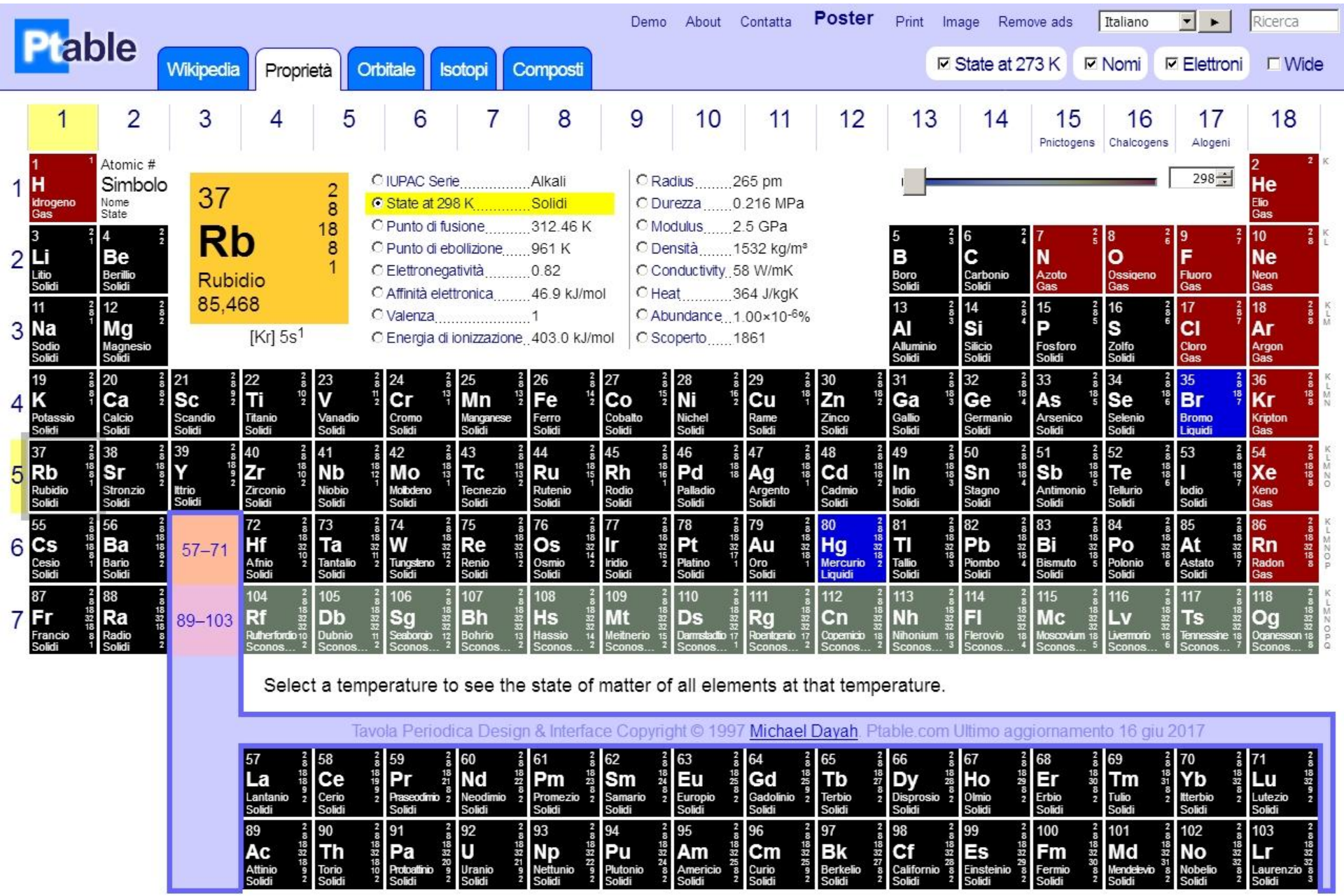
# La densità


Ptable
Demo About Contatta Poster Print Image Remove ads
Italiano
Wikipedia Proprietà Orbitale Isotopi Composti
Densità Nomi Elettroni
Atomic Sim kg/m³
9 F Fluoro 18,998
[He] 2s² 2p⁵
IUPAC Serie.....Halogen
State at 0 K.....Solidi
Punto di fusione.....53.5 K
Punto di ebollizione.....85.03 K
Elettronegatività.....3.98
Affinità elettronica.....328 kJ/mol
Valenza.....1
4th Energia di ionizzazione..8407.7 kJ/mol
Empirical Radius.50 pm
Brinell Durezza..Sconosciuto
Modulus.....Sconosciuto
STP Densità.....1.696 kg/m³
Conductivity.....0.0277 W/mK
Heat.....824 J/kgK
Abundance.....0.000040%
Scoperto.....1886
STP Liquid
Pnictogens Chalcogens Alogeni
57–71
89–103
Tavola Periodica Design & Interface Copyright © 1997 Michael Dayah Ptable.com Ultimo aggiornamento 16 giu 2017

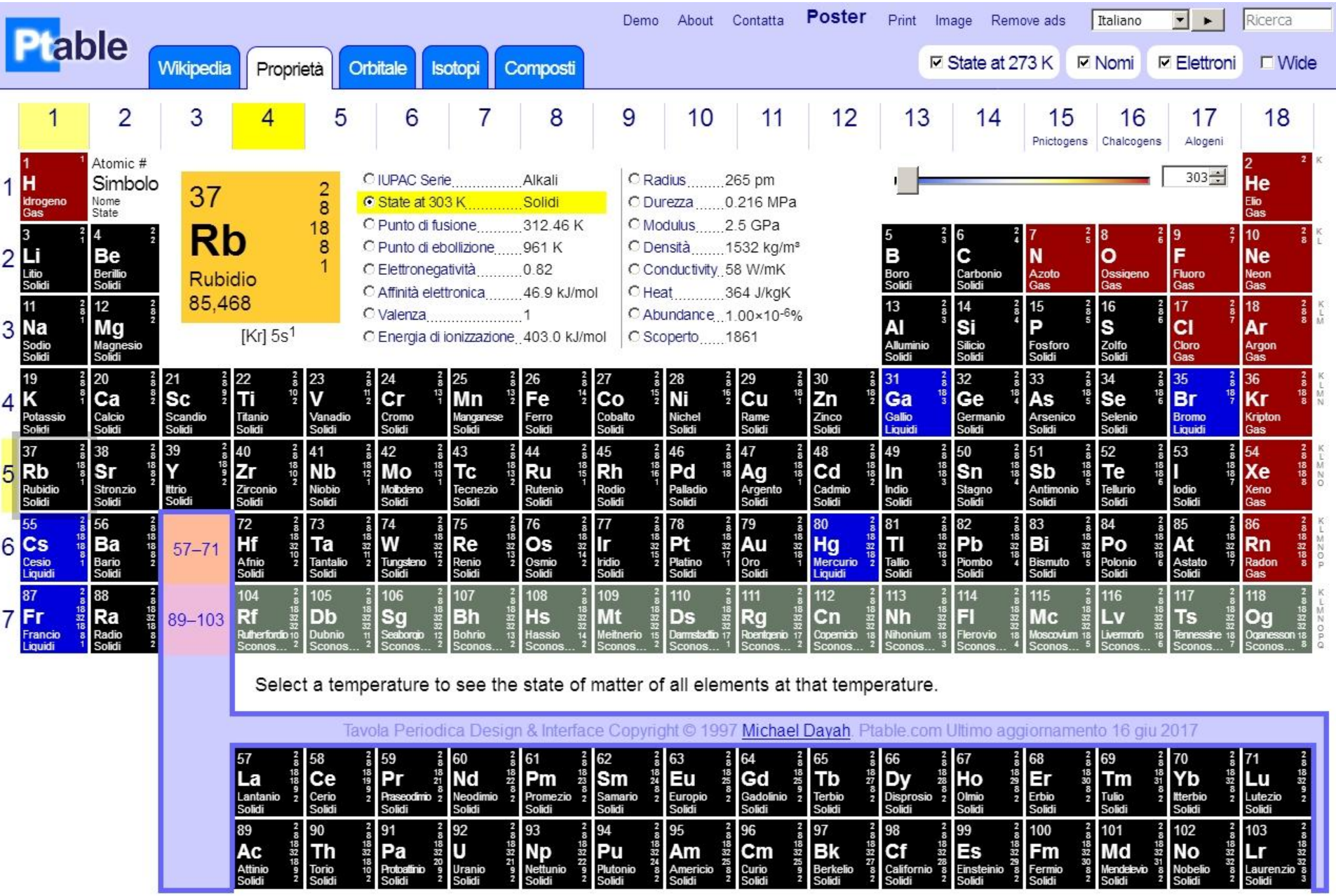
# La temperatura di fusione



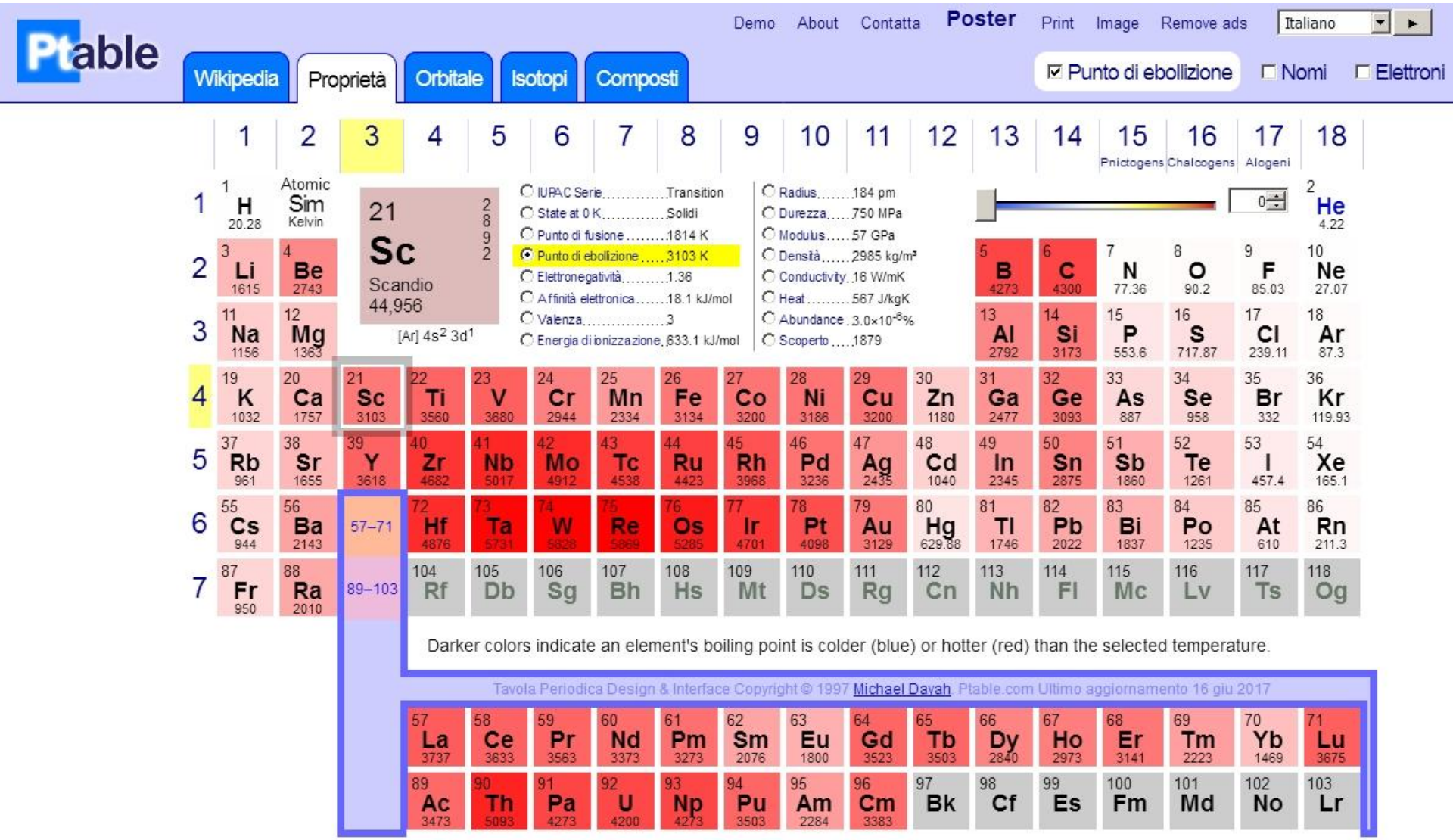
# Elementi liquidi a 25 °C



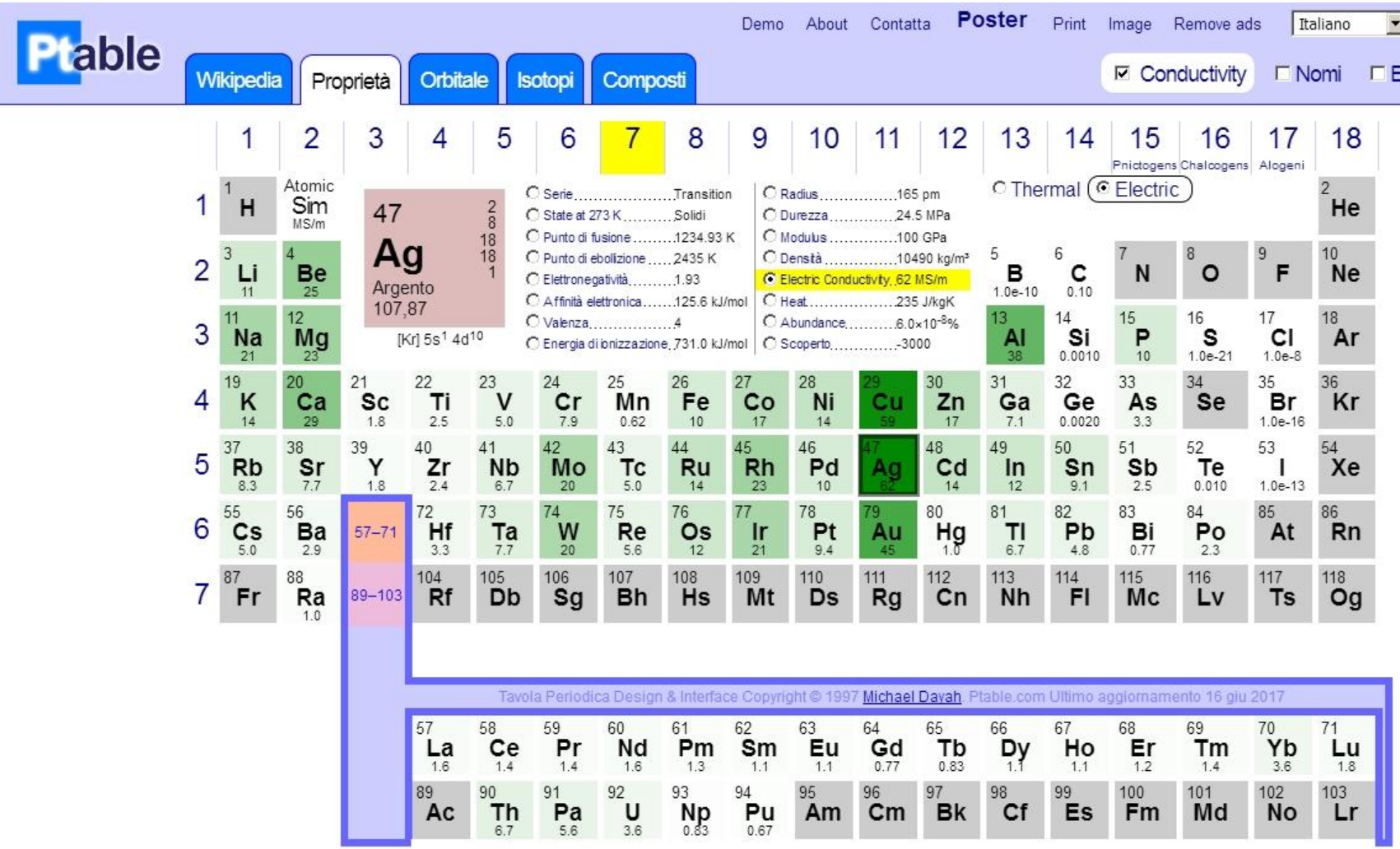
# Elementi liquidi a 30 °C (il futuro del pianeta?)



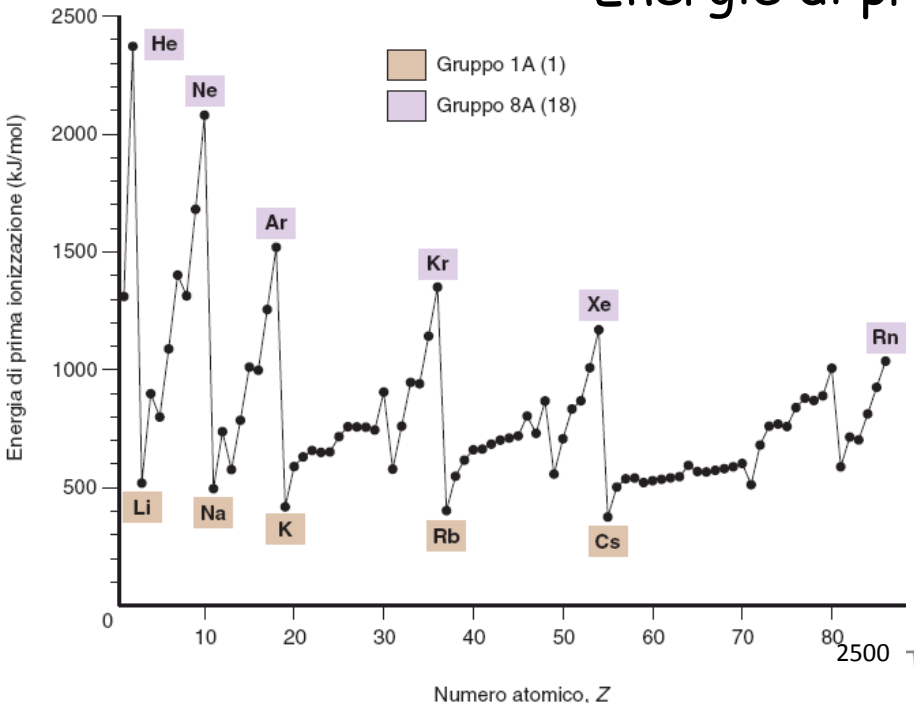
# La temperatura di ebollizione

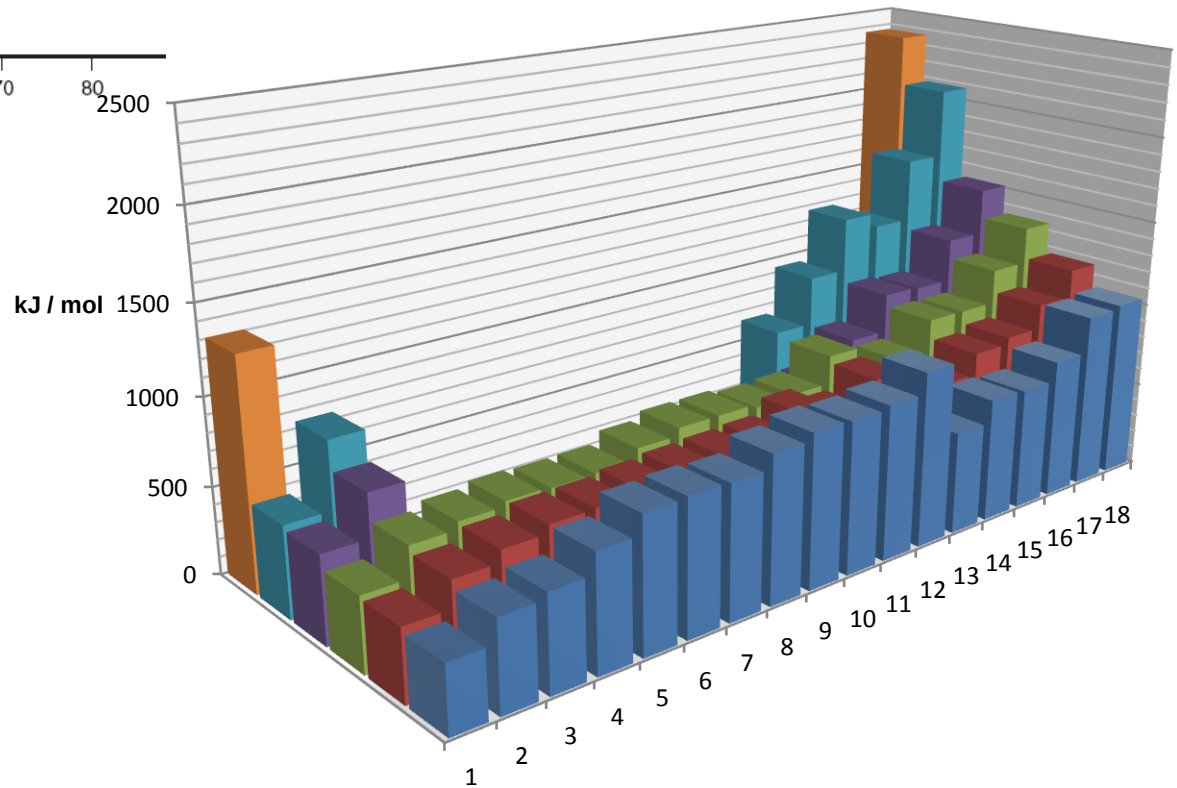


# Conducibilità elettrica degli elementi

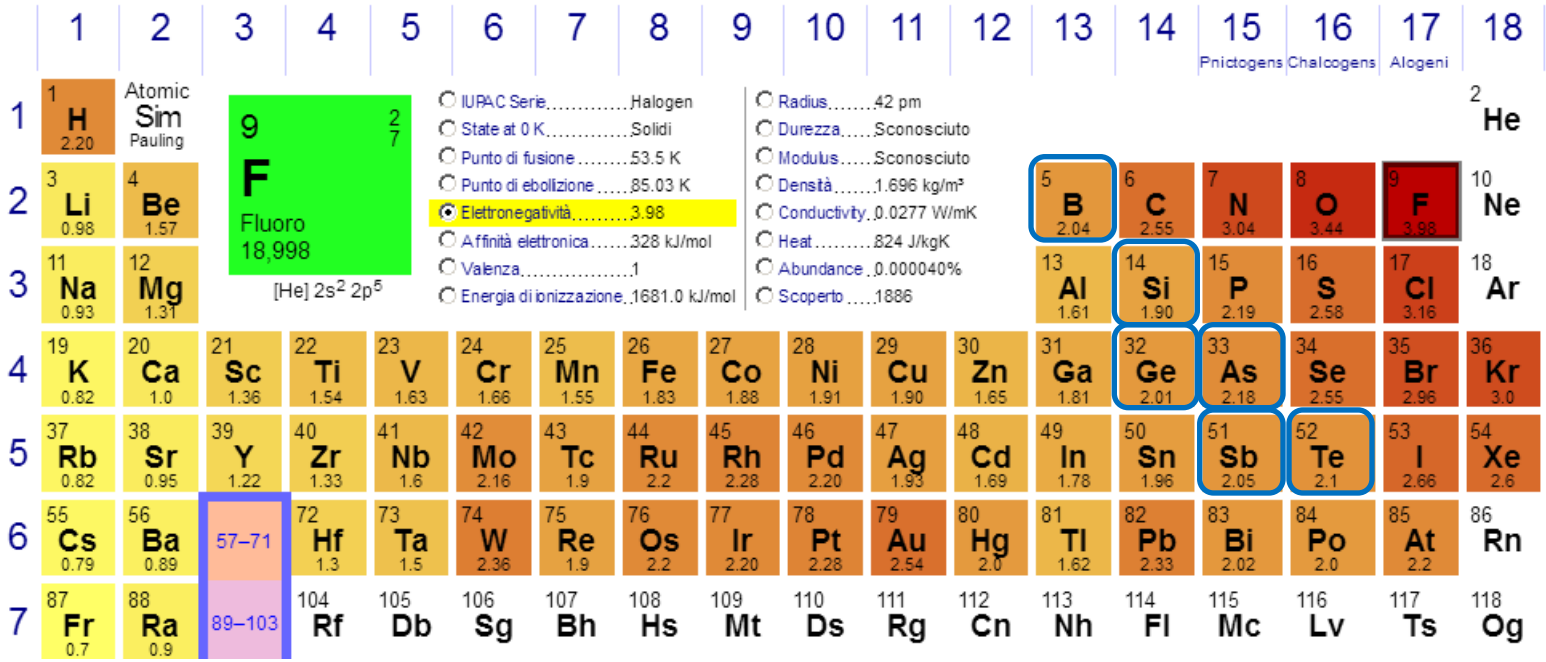


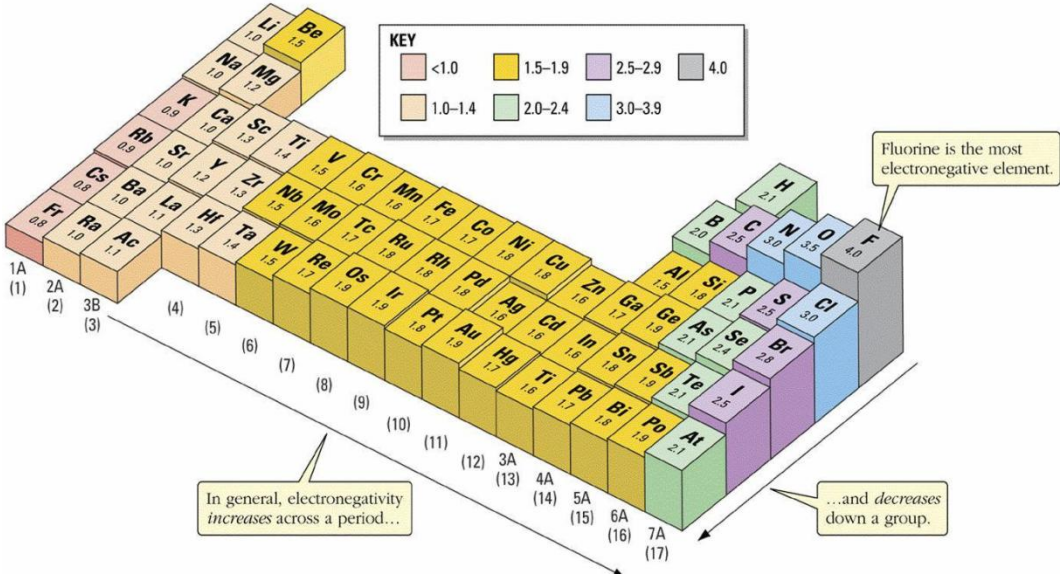
# Energie di prima ionizzazione



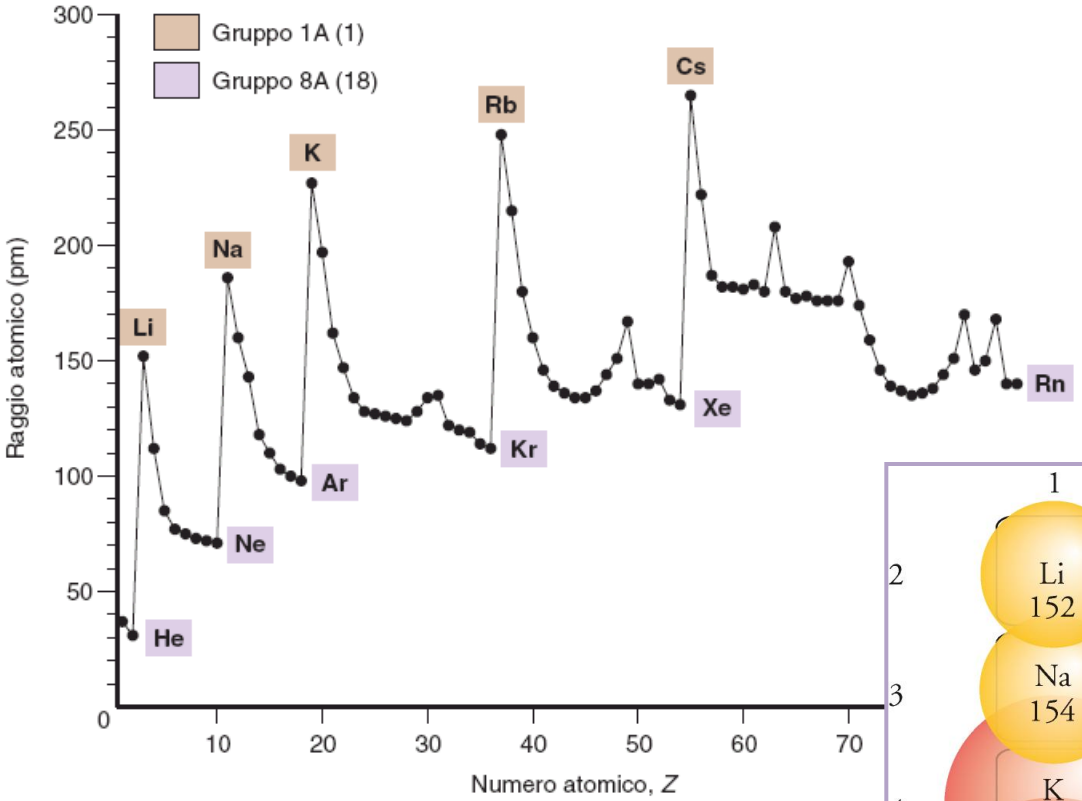



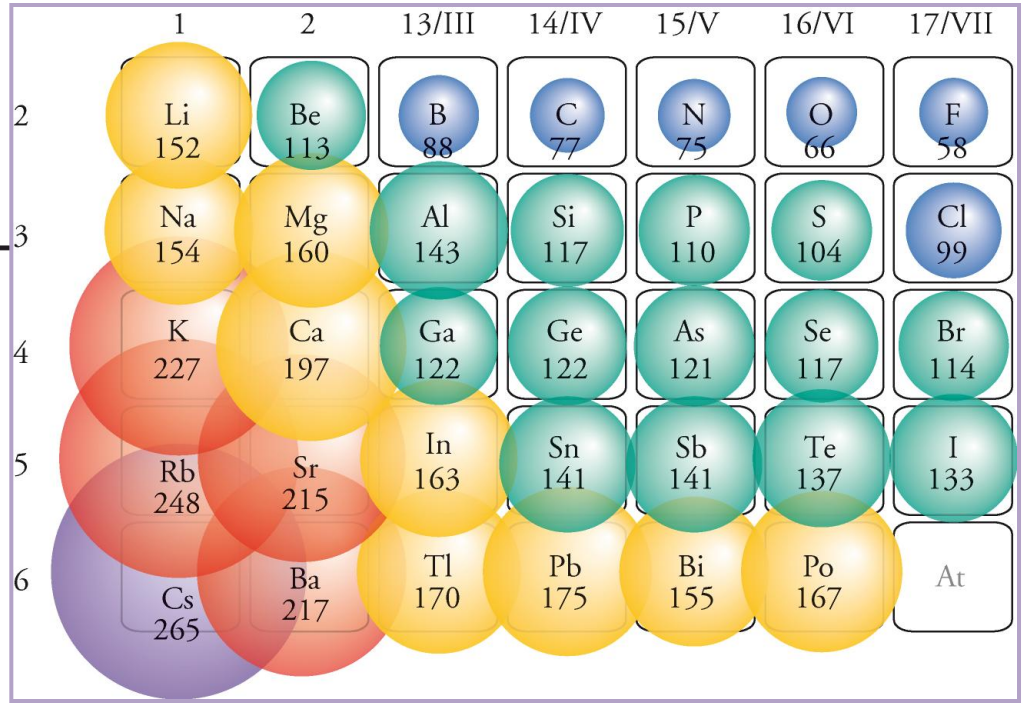
# Elettronegatività: metalli, non metalli, metalloidi



# Le proprietà periodiche: il raggio atomico



# metallo + nonmetallo = sale

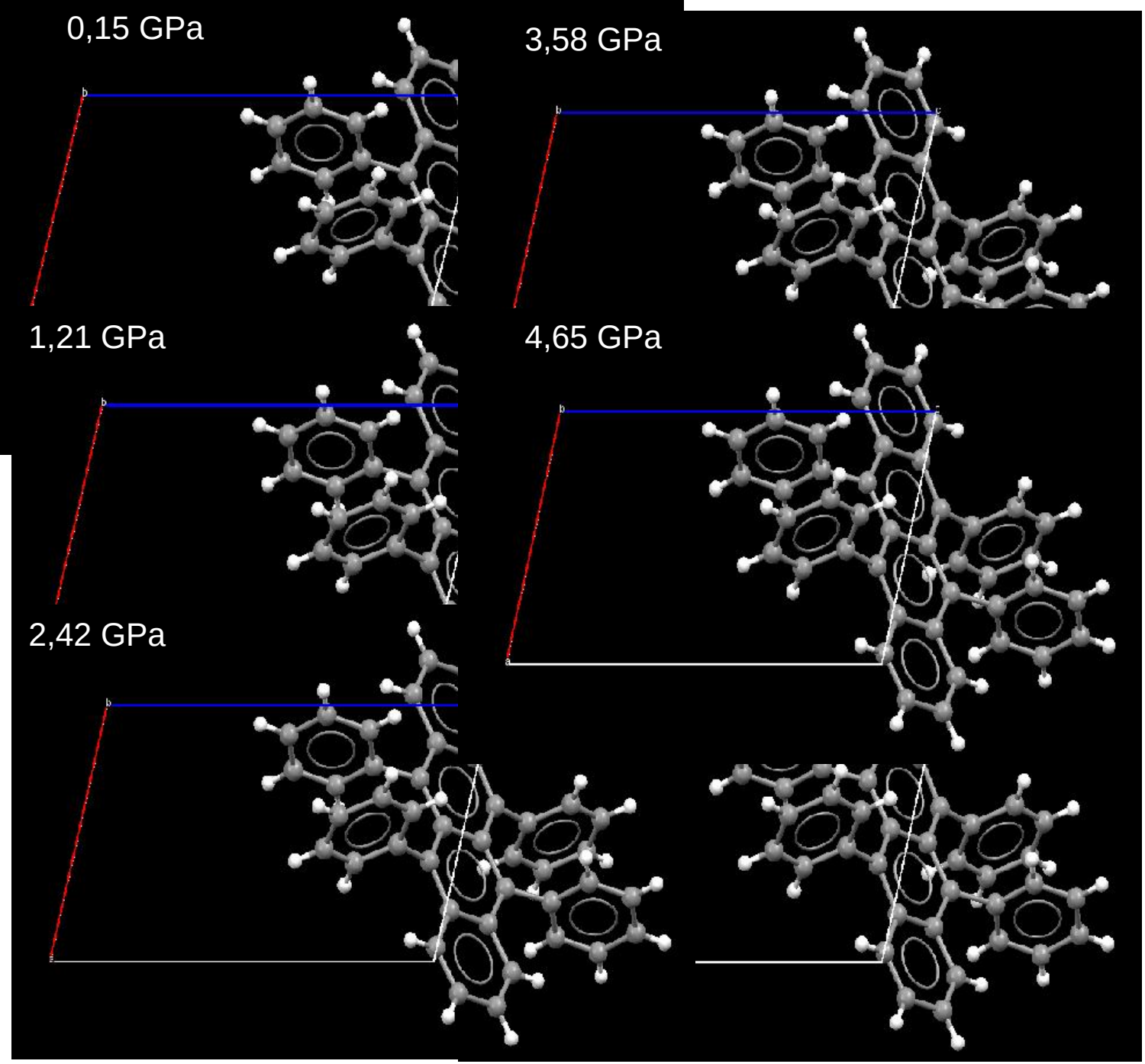
| | F | Cl | Br | I |
|---|---|---|---|---|
| Li | LiF | LiCl | LiBr | LiI |
| Na | NaF | NaCl | NaBr | NaI |
| K | KF | KCl | KBr | KI |
| Rb | RbF | RbCl | RbBr | RbI |
| Cs | CsF | CsCl | CsBr | CsI |

| | O | S | Se | Te |
|---|---|---|---|---|
| Li | $Li_2O$ | $Li_2S$ | $Li_2Se$ | $Li_2Te$ |
| Na | $Na_2O$ | $Na_2S$ | $Na_2Se$ | $Na_2Te$ |
| K | $K_2O$ | $K_2S$ | $K_2Se$ | $K_2Te$ |
| Rb | $Rb_2O$ | $Rb_2O$ | $Rb_2Se$ | $Rb_2Te$ |
| Cs | $Cs_2O$ | $Cs_2S$ | $Cs_2Se$ | $Cs_2Te$ |

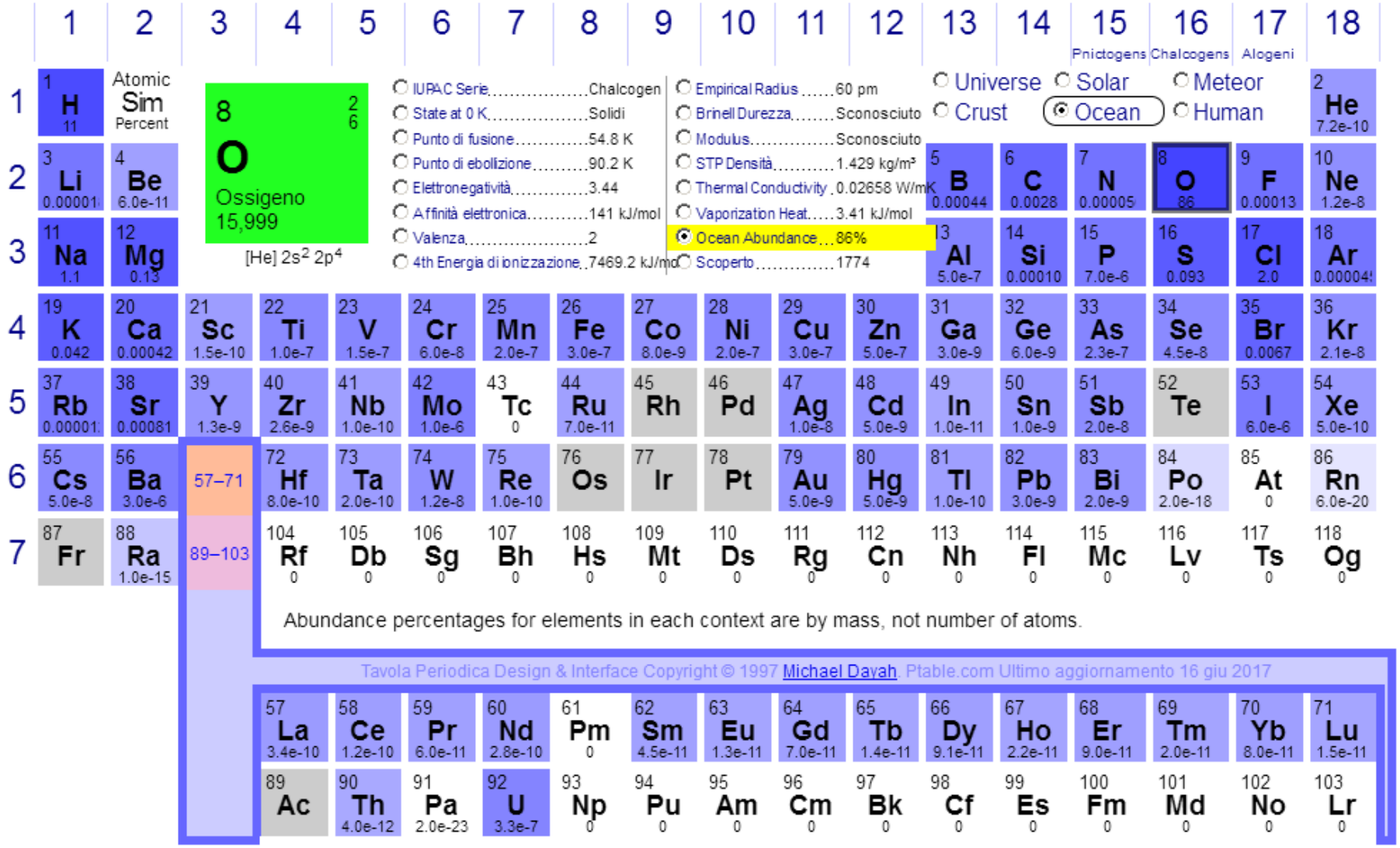
| | F | Cl | Br | I |
|---|---|---|---|---|
| Be | $BeF_2$ | $BeCl_2$ | $BeBr_2$ | $BeI_2$ |
| Mg | $MgF_2$ | $MgCl_2$ | $MgBr_2$ | $MgI_2$ |
| Ca | $CaF_2$ | $CaCl_2$ | $CaBr_2$ | $CaI_2$ |
| Sr | $SrF_2$ | $SrCl_2$ | $SrBr_2$ | $SrI_2$ |
| Ba | $BaF_2$ | $BaCl_2$ | $BaBr_2$ | $BaI_2$ |

| | O | S | Se | Te |
|---|---|---|---|---|
| Be | BeO | BeS | BeSe | BeTe |
| Mg | MgO | MgS | MgSe | MgTe |
| Ca | CaO | CaS | CaSe | CaTe |
| Sr | SrO | SrO | SrSe | SrTe |
| Ba | BaO | BaS | BaSe | BaTe |

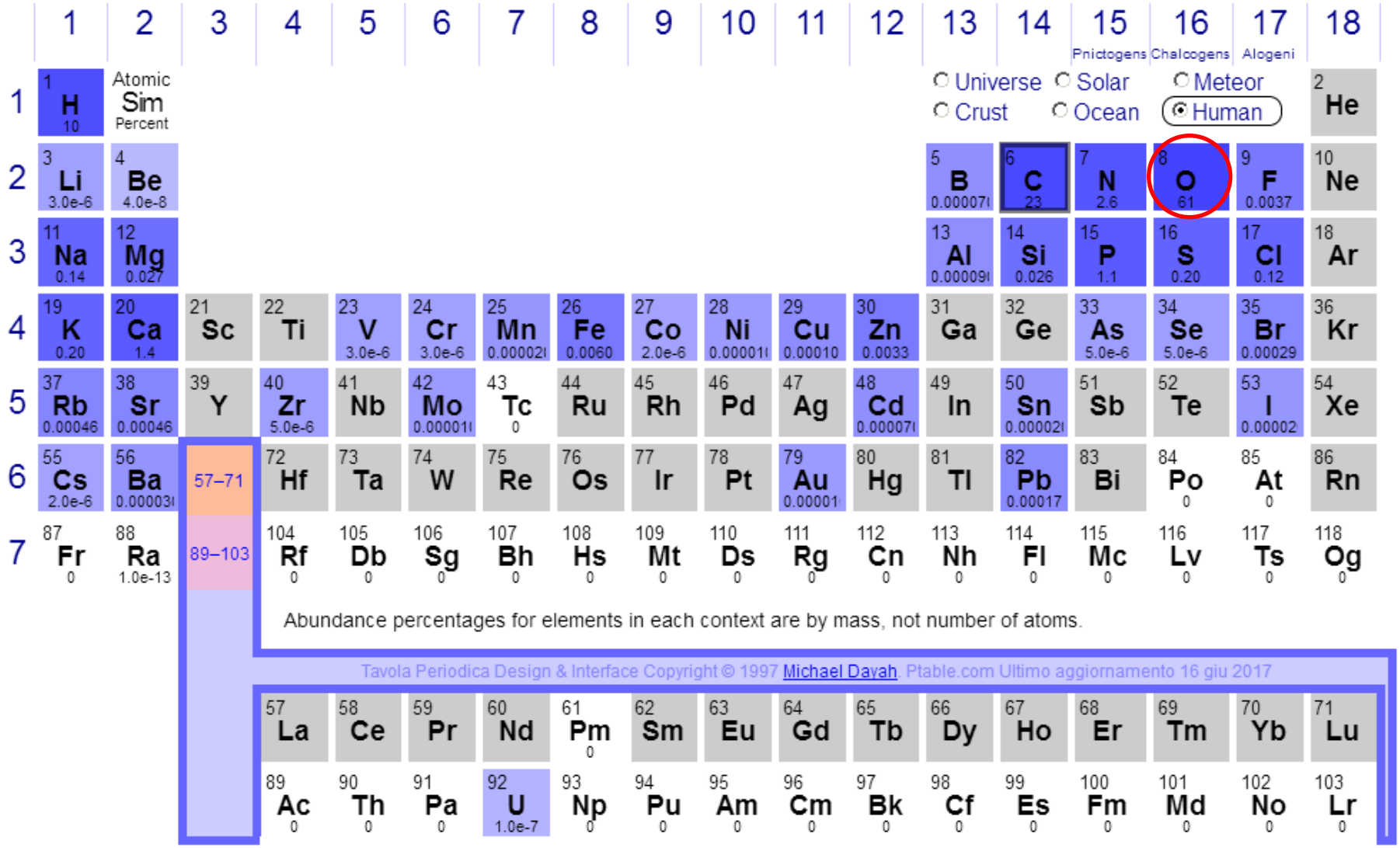
*Poiché la radioattività è un fenomeno atomico, accompagnato da una trasformazione chimica in cui sono prodotti nuovi tipi di materia, le trasformazioni chimiche suddette debbono avvenire all'interno dell'atomo e gli elementi radioattivi devono essere soggetti a trasformazioni spontanee. I risultati che ho così ottenuto, i quali indicano che le velocità di reazione sono indipendenti dalle condizioni, mostrano che le trasformazioni in questione hanno un carattere del tutto differente da quelle fino ad ora considerate in chimica. Appare, quinidi, evidente che i fenomeni con cui siamo interessati escono dalla sfera delle forze atomiche conosciute. La radioattività può, perciò, essere considerata come una manifestazione di una trasformazione subatomica. Le reazioni portate a conoscenza dalla radioattività, benché siano indubbiamente di natura chimica, sono, come ordine di grandezza, differenti da tutte quelle fino ad ora considerate in chimica.*


0,15 GPa
3,58 GPa
1,21 GPa
4,65 GPa
2,42 GPa

# Abbondanza degli elementi negli oceani



# Abbondanza degli elementi nel corpo umano




Pyura chilensis (Ascidiacee) concentra il vanadio $10^7$ volte