

GLI
ELEMENTI CHIMICI

Schede descrittive degli elementi

Proprietà degli elementi su Tavole Periodiche

a cura di Luca Moggi, M. Teresa Gandolfi, Roberto Ballardini

INDICE

Schede descrittive degli elementi

Spiegazione	
Glossario	
Bibliografia	
Afnio	Hf
Alluminio	Al
Antimonio	Sb
Argento	Ag
Argo	Ar
Arsenico	As
Astato	At
Attinio	Ac
Azoto	N
Bario	Ba
Berillio	Be
Bismuto	Bi
Boro	B
Bromo	Br
Cadmio	Cd
Calcio	Ca
Carbonio	C
Cerio	Ce
Cesio	Cs
Cloro	Cl
Cobalto	Co
Cripto	Kr
Cromo	Cr
Disprosio	Dy
Elio	He
Erbio	Er
Europio	Eu
Ferro	Fe
Fluoro	F
Fosforo	P
Francio	Fr
Gadolinio	Gd
Gallio	Ga
Germanio	Ge
Idrogeno	H
Indio	In
Iodio	I
Iridio	Ir
Itterbio	Yb
Ittrio	Y
Lantanio	La
Litio	Li
Lutezio	Lu
Magnesio	Mg
Manganese	Mn
Mercurio	Hg
Molibdeno	Mo
Neodimio	Nd
Neon	Ne
Nichel	Ni
Niobio	Nb
Olmio	Ho
Oro	Au
Osmio	Os
Ossigeno	O
Palladio	Pd
Piombo	Pb
Platino	Pt
Polonio	Po

Potassio	K
Praseodimio	Pr
Promezio	Pm
Protoattinio	Pa
Radio	Ra
Radon	Rn
Rame	Cu
Renio	Re
Rodio	Rh
Rubidio	Rb
Rutenio	Ru
Samario	Sm
Scandio	Sc
Selenio	Se
Silicio	Si
Sodio	Na
Stagno	Sn
Stronzio	Sr
Tallio	Tl
Tantalio	Ta
Tecnezio	Tc
Tellurio	Te
Terbio	Tb
Titanio	Ti
Torio	Th
Tulio	Tm
Wolframio (Tungsteno)	W
Uranio	U
Vanadio	V
Xeno	Xe
Zinco	Zn
Zirconio	Zr
Zolfo	S

Proprietà degli elementi su Tavole Periodiche

- Abbondanza degli elementi nel cosmo
- Abbondanza degli elementi nella crosta terrestre
- Affinità elettronica
- Composizione chimica del corpo umano
- Composizione isotopica naturale degli elementi
- Elementi che hanno funzioni biologiche
- Elettronegatività (di Pauling)
- Energia di prima ionizzazione
- Materie prime principali per la produzione degli elementi
- Raggio atomico (di van der Waals)
- Relazione tra proprietà chimiche degli elementi e elettronegatività
- Stato di aggregazione e tipo di legame nelle specie elementari
- Tossicità degli elementi

SPIEGAZIONE DELLE SCHEDE

Sono qui riportate, sotto forma di schede, le principali proprietà degli elementi chimici con **numero atomico** ≤ 92 , esclusi quindi i **transuranici**. Ogni scheda consiste di 5 parti.

La **prima parte** riporta inizialmente il nome dell'elemento, in italiano e (tra parentesi) in inglese, con il suo etimo. Il quadratino nero nella Tavola Periodica indica la posizione dell'elemento; la Tavola è colorata per evidenziare i vari blocchi degli elementi: **celeste** il blocco *s*, **giallo** quello *d*, **verde** quello *p*, **rosso** quello *f*; gli elementi **transuranici** sono in grigio. Seguono informazioni storiche sulla identificazione o scoperta dell'elemento.

Nella **prima tabella** sono riportati il simbolo, il **numero atomico**, il **peso atomico standard** (corrispondente alla composizione isotopica naturale standard), il raggio atomico (raggio di van der Waals) espresso in ångström ($1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$), la **configurazione elettronica fondamentale**, l'**elettronegatività** secondo Pauling; i pesi atomici in *corsivo* ed evidenziati in **giallo** sono quelli degli elementi dei quali esistono in commercio prodotti con un valore di peso atomico al di fuori della normale variabilità indicata nella bibliografia [1].

Nella **seconda tabella** sono riportati i contenuti dell'elemento nella crosta terrestre, negli oceani e nel corpo umano; la massa della crosta terrestre è valutata circa $3 \times 10^{22} \text{ kg}$; il volume degli oceani è $1 \times 10^{18} \text{ m}^3$.

La **terza tabella** riporta la **composizione isotopica naturale standard** ed indica il **numero di massa** (*A*) di ciascun **isotopo**, la sua percentuale *e*, se radioattivo, il **tempo di dimezzamento** ($t_{1/2}$) ed i modi di decadimento (dec) del nucleo. Il termine "stabile" si riferisce ai **nuclidi** per i quali non vi sono evidenze sperimentali di decadimento (ciò non toglie che alcuni di essi potrebbero in realtà essere radioattivi); i modi di decadimento sono: α = emissione di una particella α (${}^4\text{He}^{2+}$, He = elio); β = emissione di un elettrone (e^-); 2β = emissione di due elettroni; ε = cattura di un elettrone esterno e/o emissione di un positrone (e^+); 2ε = cattura di due elettroni esterni e/o emissione di due positroni; tutte queste eventi sono accompagnati da emissione di radiazioni γ .

Per gli elementi che hanno solo **isotopi** naturali radioattivi a vita breve ($t_{1/2} < 10^5$ anni), per i quali non può essere definita una composizione isotopica naturale e un **peso atomico**, abbiamo indicato gli **isotopi** più importanti (naturali e/o artificiali) con le loro **masse atomiche relative** (m_a in unità di massa atomica unificata, u), i **tempi di dimezzamento** ed i modi di decadimento.

La **seconda parte** contiene informazioni sulle specie elementari (cioè le specie chimiche costituite da atomi di un solo elemento). La tabella riporta dati relativi alla forma **stabile** a 25 °C e 1 bar: nome, formula, stato di aggregazione, struttura cristallina (solo per le specie solide), temperature di fusione, di ebollizione o di sublimazione (alla pressione di 1 bar), tipo di legame (cov. mol. = covalente molecolare; cov. inf. = covalente a struttura infinita, intermedio = legame intermedio tra covalente a struttura infinita e metallico, a volte con conducibilità elettrica non trascurabile).

La struttura cristallina è stata indicata mediante i simboli di Pearson che sono definiti nella seguente tabella; se sono presenti più forme **allotropiche** è stata indicata quella **stabile**.

STRUTTURE CRISTALLINE

simbolo di Pearson	reticolo di Bravais
<i>oS</i>	ortorombico a basi centrate
<i>oF</i>	ortorombico a facce centrate
<i>tI</i>	tetragonale a corpo centrato
<i>hP</i>	esagonale
<i>hR</i>	romboedrico
<i>cP</i>	cubico
<i>cF</i>	cubico a facce centrate
<i>cI</i>	cubico a corpo centrato

Vengono quindi date notizie storiche relative alla preparazione della specie elementare e informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche di tale specie. Infine vengono indicate altre forme allotropiche importanti.

Nella **terza parte** sono riportate, in modo schematico, le proprietà chimiche generali dell'elemento, con particolare riguardo ai suoi composti inorganici. Segue una tabella con gli stati di ossidazione (s.o.) usuali dell'elemento (in rosso, quelli più importanti): per ciascuno di essi viene riportata la famiglia fondamentale di composti (ossido, idrossido o ossiacido principale, cationi e **ossoanioni** per s.o. > 0 ; composti binari con H ed ioni derivati per s.o. < 0 ; nel caso di acidi o basi **poliprotici**, viene riportato solo lo ione più carico); viene quindi indicato il carattere acido/base (forte o debole) rispetto ad H_2O ed il carattere redox a $\text{pH} = 0$ ed a $\text{pH} = 14$; sono poi indicati gli alogenuri noti ($X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$).

Il carattere redox degli s.o. è stato valutato in base ai **potenziali standard di riduzione** (E°) della specie prevalente in soluzione acquosa, con i seguenti criteri:

- ossidante forte: se a tale s.o. corrisponde la forma ossidata di una coppia redox con $E^\circ > +1,30 \text{ V}$;
- ossidante medio: se a tale s.o. corrisponde la forma ossidata di una coppia redox con $+1,30 \text{ V} \geq E^\circ \geq +0,40 \text{ V}$;
- ossidante debole: se a tale s.o. corrisponde la forma ossidata di una coppia redox con $+0,39 \text{ V} \geq E^\circ \geq +0,01 \text{ V}$;
- riducente debole: se a tale s.o. corrisponde la forma ridotta di una coppia redox con $-0,01 \text{ V} \geq E^\circ \geq -0,39 \text{ V}$;
- riducente medio: se a tale s.o. corrisponde la forma ridotta di una coppia redox con $-0,40 \text{ V} \geq E^\circ \geq -1,30 \text{ V}$;

GLOSSARIO

affinità elettronica	energia liberata quando un atomo isolato acquista un elettrone, trasformandosi nell'anione
allotropi	specie elementari dello stesso elemento che differiscono per composizione molecolare (e.g., O ₂ e O ₃), per tipo di legame (e.g., As ₄ covalente e As metallico) o per forma cristallina (e.g., α-Co cubico e ε-Co esagonale)
anfiprotico	che può sia cedere ioni H ⁺ (comportamento acido) che acquistare ioni H ⁺ (comportamento basico)
anfotero	specie chimica che in acqua ha proprietà sia acide che basiche
antiferromagnetica	sostanza i cui dipoli magnetici sono allineati antiparallelemente, con momento magnetico risultante nullo, per cui non risente dei campi magnetici esterni
antiossidanti	sostanze che impediscono o ritardano processi di ossidazione; particolarmente importanti in campo biologico ed alimentare perché agiscono contro i radicali liberi
atomo donatore	l'atomo di un legante che fornisce la coppia di elettroni per il legame dativo
attinoidi	gli elementi da attinio (⁸⁹ Ac) a laurenzio (¹⁰³ Lr), inclusi
banda di conducibilità	in metalli ed altre sostanze conduttrici è l'insieme pressoché continuo di livelli energetici che permette la conducibilità elettrica perché parzialmente occupato da elettroni
calcinazione	eliminazione di uno o più componenti volatili da una sostanza solida mediante riscaldamento a alte temperature
chelante	legante che si lega allo ione metallico tramite due o più atomi donatori
ciclopentadienilico (composto)	composto organometallico con legami tra un metallo e lo ione ciclopentadienile, C ₅ H ₅ ⁻
cluster	struttura poliedrica formata da un numero definito di atomi di un metallo legati tra loro con legami covalenti
composizione isotopica naturale standard	è una media delle composizioni isotopiche di un elemento nei suoi composti naturali. E' stabilita ed aggiornata periodicamente dalla IUPAC, e determina il valore del peso atomico standard
conduttività elettrica	conducibilità elettrica di un campione di lunghezza e sezione unitaria; dipende dalla temperatura
conduttività termica	grandezza che misura la capacità di una sostanza a trasmettere il calore in un campione di lunghezza e sezione unitaria; dipende dalla temperatura
configurazione elettronica fondamentale	per atomi, molecole e ioni, è la distribuzione degli elettroni tra i vari livelli energetici che ha il minimo valore di energia elettronica
coppellazione	separazione di metalli fusi che sfrutta la diversa tendenza a combinarsi con l'ossigeno
critica (temperatura e pressione)	la temperatura critica di una sostanza è il valore al di sopra del quale fase liquida e fase gassosa sono indistinguibili, perché hanno la stessa densità; la pressione critica è la tensione di vapore della sostanza alla temperatura critica
cubano	idrocarburo policiclico alifatico di formula C ₈ H ₈ con gli atomi di carbonio disposti ai vertici di un cubo
dimero	specie chimica formata dall'unione di due molecole uguali
dismutazione	reazione di una specie chimica in cui un elemento in parte si ossida ed in parte si riduce
drogaggio (di un semiconduttore)	introduzione di impurezze in un semiconduttore estremamente puro allo scopo di modularne le proprietà elettriche; nel caso di silicio o germanio, le impurezze sono piccole quantità di un elemento trivalente (B, Ga, In) o pentavalente (P, As, Sb)
durezza	resistenza di un solido alla scalfittura, all'abrasione o alla penetrazione
duttile (metallo)	che si può ridurre in fili sottili
elementi di transizione	gli elementi dal gruppo 3 al gruppo 11 della Tavola Periodica, inclusi; sono gli elementi che hanno un sottolivello d incompleto, almeno in un loro catione
elettronegatività	grandezza che quantifica il potere di attrazione di un atomo verso gli elettroni dei legami con altri atomi
eutettico	soluzione liquida di due o più specie chimiche che ha una temperatura di congelamento più bassa di quelle di tutte le altre soluzioni delle stesse sostanze; a tale temperatura l'eutettico è in equilibrio con le fasi solide di tutti i suoi componenti, presenti in rapporti pari a quelli nella soluzione
ferromagnetica	sostanza paramagnetica i cui dipoli magnetici vengono allineati parallelamente da un campo magnetico esterno, mantenendo l'allineamento anche quando il campo si annulla; è la proprietà delle comuni sostanze magnetiche
fissile	nuclide il cui nucleo può scindersi in due o tre frammenti quando è colpito da un neutrone o particella simile; la fissione è accompagnata da emissione di energia e spesso di neutroni
fluorescenza	luminescenza (generalmente nell'UV o nel visibile) con mantenimento della molteplicità di spin della specie emittente; generalmente cessa entro qualche nanosecondo dal termine dell'eccitazione

formula elementare	la più semplice formula con coefficienti interi che esprime la composizione di un composto
forza di London	è la forza di attrazione tra atomi o molecole non polari, dovuta alla loro polarizzazione "istantanea"
fosfori	sostanze luminescenti capaci di emettere luce visibile se colpite da radiazioni UV, elettroni, particelle α , ecc.
fotocromismo	trasformazione reversibile di una specie molecolare tra due forme isomeriche che hanno spettri di assorbimento diversi (tipicamente nel visibile), indotta in una od entrambe le direzioni dall'assorbimento di radiazione UV o visibile
galvanizzazione	applicazione mediante elettrolisi di un sottile strato di zinco (o di altro metallo) sul ferro o altro materiale metallico, generalmente per proteggerlo dalla corrosione
gas nobili	gli elementi del gruppo 18 della Tavola Periodica, chiamati così, o anche "gas inerti", per la scarsa tendenza a reagire
idrolisi	la reazione chimica in cui una sostanza viene scissa in due parti con addizione di una molecola d'acqua ($A-B + H_2O \rightarrow A-H + B-OH$); anche la reazione acido-base tra un acido o una base deboli e l'acqua (e.g.: $A-H + H_2O \rightarrow A^- + H_3O^+$; $B + H_2O \rightarrow BH^+ + OH^-$)
idrossocazione	catione costituito da un catione metallico legato a gruppi OH^- (e.g., $Al(OH)_2^+$)
inerte	sostanza con scarsa reattività chimica per ragioni cinetiche
interstiziale	atomo che non occupa una posizione regolare nel reticolo cristallino di una sostanza
isotopi (di un elemento)	atomi di uno stesso elemento che differiscono per il numero di neutroni e quindi hanno diversi numeri di massa
lantanoidei	gli elementi da lantanio ($_{57}La$) a lutezio ($_{71}Lu$), inclusi
LED	"Light Emitting Diode": diodo a semiconduttore che emette luce visibile per una bassa tensione applicata, dell'ordine del volt
lega	soluzione (in genere solida) di composizione variabile tra due o più metalli
legame 3 centri-2 elettroni	legame costituito da un'unica coppia di elettroni che tengono uniti 3 atomi
legame π	legame covalente caratterizzato da densità di carica elettronica nulla lungo l'asse di legame; il corrispondente orbitale molecolare è essenzialmente costituito da due zone di alta densità elettronica poste sopra e sotto l'asse di legame ed è antisimmetrico rispetto alla rotazione intorno all'asse stesso
legame σ	legame covalente caratterizzato da un addensamento della carica elettronica lungo l'asse di legame; il corrispondente orbitale molecolare è simmetrico rispetto alla rotazione intorno a tale asse
legante	molecola o ione che forma legami di coordinazione con uno ione metallico
luminescenza	emissione spontanea di radiazione UV o visibile da una specie elettronicamente eccitata.
magnetorestrittivo	materiale ferromagnetico capace di modificare le proprie dimensioni quando è sottoposto ad un campo magnetico
malleabile (metallo)	che si può ridurre in fogli sottili per laminazione o martellatura
massa atomica relativa, m_a	massa di un atomo in unità di massa atomica unificata (1/12 della massa di ^{12}C)
nativo	elemento presente in natura come specie elementare
nuclide	specie atomica definita dal numero di protoni (uguale al numero atomico) e dal numero di neutroni presenti nel nucleo. Negli atomi neutri il numero di elettroni è uguale al numero di protoni
numero atomico	numero di protoni nel nucleo di un atomo; tutti gli atomi di un elemento hanno lo stesso numero atomico
numero di coordinazione	numero di atomi donatori che si combinano con un ione metallico in un composto di coordinazione
numero di massa	la somma del numero di protoni e del numero di neutroni nel nucleo di un atomo
organometallico (composto)	composto in cui un metallo è legato covalentemente a atomi di carbonio di sostanze organiche
ossoanione	anione costituito da atomi di un elemento e di ossigeno (e.g., SO_4^{2-} , MnO_4^-)
ossocazione	catione costituito da atomi di un elemento e di ossigeno (e.g., VO_2^+)
paramagnetica	sostanza con elettroni spaiati, i cui dipoli magnetici vengono allineati parallelamente da un campo magnetico esterno, ma perdono l'allineamento quando il campo si annulla
passivazione	formazione sulla superficie di un metallo di uno strato di un composto (in genere l'ossido) che protegge il metallo da ulteriori reazioni
peso atomico standard	massa atomica media di un elemento, cioè la media pesata delle masse dei suoi isotopi naturali, considerati nella loro abbondanza relativa standard
piezoelettrico	cristallo che si polarizza elettricamente quando è sottoposto a pressione o trazione
piroforico	sostanza che si incendia spontaneamente a contatto con l'aria
poliprotico	acido che può cedere più di un ione H^+ e base che può acquistare più di un ione H^+ o cedere più di uno ione OH^-

potenziale standard di riduzione (E°)	grandezza elettrochimica che misura la tendenza a ridursi di una coppia redox (e.g., $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$) rispetto a quella della coppia di riferimento H^+/H_2 ; il tutto in condizioni standard, cioè concentrazione 1 M per le specie in soluzione, pressione di 1 bar per le specie gassose, temperatura di 25 °C
primordiale (nuclide)	nuclide preesistente alla formazione del pianeta terra
raggio di van der Waals (di un atomo)	è la minima distanza dal centro dell'atomo alla quale può avvicinarsi un altro atomo quando non forma col primo un legame chimico (covalente, metallico o ionico)
semiconduttore	specie chimica caratterizzata da una conduttività elettrica intermedia tra quella dei conduttori e quella degli isolanti; la conduttività dipende dalle impurezze naturali o artificiali presenti ed aumenta con la temperatura
semimetalli	elementi che hanno proprietà intermedie tra quelle dei metalli e dei non-metalli, oppure che hanno proprietà metalliche in alcuni composti e non-metalliche in altri. Non esiste un elenco definitivo dei semimetalli; gli elementi considerati più comunemente tali sono Si, Ge, As, Sb, Te
specie elementare	specie chimica formata da atomi di un solo elemento
stabile	sostanza che non può reagire chimicamente per ragioni termodinamiche
stato di ossidazione	la carica ionica formale che ogni atomo di un composto assumerebbe se gli elettroni condivisi tra due o più atomi venissero ripartiti secondo prestabiliti criteri (in genere, vengono attribuiti all'atomo più elettronegativo)
tempo di dimezzamento	tempo necessario affinché scompaia la metà di una specie chimica in una data reazione; applicato nelle schede solo al decadimento di nuclidi radioattivi
tenace (metallo)	resistente a deformazioni o rotture
termocromico	sistema costituito da due isomeri o due forme cristalline di una sostanza, in equilibrio tra loro, capaci di cambiare colore al cambiare della temperatura
terre rare	scandio, ittrio ed i lantanoidi
transiente	specie chimica instabile prodotta da una reazione e trasformata rapidamente da un'altra reazione
transuranici	elementi che seguono l'uranio nella Tavola Periodica (numero atomico maggiore di 92)
YAG	$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, yttrium aluminium garnet, minerale sintetico di ittrio e alluminio
π -accettore	in un composto di coordinazione, legante che può accettare un legame dativo di tipo π dal metallo centrale

BIBLIOGRAFIA

I **pesi atomici** sono stati tratti da [1a].

I **raggi atomici** sono tratti da [2] Sezione 9.

Le **composizioni isotopiche naturali** sono state tratte da [1b].

Le **masse atomiche** sono state tratte da [2] Sezione 11.

I **tempi di dimezzamento** ed i **modi di decadimento** sono stati tratti da [2] Sezione 11, [3] – [6] e, in pochi casi, da [7].

Le **temperature di fusione, ebollizione, sublimazione**, sono state tratte da [2] Sezione 4.

I **contenuti nella crosta terrestre e negli oceani** sono stati tratti da [2] Sezione 14.

I **contenuti nel corpo umano** sono stati prevalentemente tratti da [2] Sezione 7; alcuni da [8].

Le **forme allotropiche** degli elementi sono state dedotte da [2] Sezione 12, [9] e [10].

Per la **scoperta, origine del nome, preparazione della specie elementare**: ci siamo riferiti principalmente a [2] Sezione 4, [8], [11]-[16].

I **potenziali di riduzione** sono stati tratti da [2], sezione 8 e da [17].

Produzione: i dati sono stati tratti prevalentemente da [18] e si riferiscono al 2009; alcuni sono stati tratti da altre fonti ([8], [19] - [34]) che sono state indicate insieme all'anno di riferimento. La produzione e le riserve di combustibili fossili sono state ricavate da [35].

Per tutte le altre informazioni sono state anche ampiamente consultate le bibliografie [36] – [45].

- [1] a) M.E. Wieser and T.B. Coplen, "Atomic weights of the elements 2009 (IUPAC Technical Report)", *Pure Appl. Chem.*, **83**, 359-396 (2011).
b) M. Berglund and M.E. Wieser, "Isotopic compositions of the elements 2009 (IUPAC Technical Report)", *Pure Appl. Chem.*, **83**, 397-410 (2011)
- [2] D.R. Lide, ed., CRC Handbook of Chemistry and Physics, 90° ed., internet version 2010.
- [3] G. Audi, O. Bersillon, J. Blachot, A.H. Wapstra, "The NUBASE evaluation of nuclear and decay properties", *Nuclear Physics A*, **792**, 3-128 (2003); doi: 10.1016/j.nuclphysa.2003.11.001.
- [4] National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory: <http://www.nndc.bnl.gov>.
- [5] T-2 Nuclear Information Center, Los Alamos National Laboratory: <http://t2.lanl.gov>.
- [6] Nucleonica – Karlsruhe Nuclide Chart: <http://www.nucleonica.net>.
- [7] <http://www.wikipedia.org>.
- [8] P. Enghag, "Encyclopedia of the Elements", Wiley VCH, Weinheim (Germany), 2004.
- [9] <http://www.knowledgedoor.com>.
- [10] C.N. Singman, "Atomic Volume and Allotropy of the Elements", *J. Chem. Educ.*, **61**, 137-142 (1984).
- [11] M.E. Weeks, vari articoli su *J. Chem. Educ.*, **9**, (1932) e **10**, (1933).
- [12] S.S. Hauben, *J. Chem. Educ.*, **10**, 227-234 (1933).
- [13] N.N. Greenwood and A. Earnshaw, "Chemistry of Elements", 2nd ed., Butterworth Heinemann, Woburn (MA, USA), 1998.
- [14] J. Emsley, "Nature's Building Blocks", Oxford University Press, 2001.
- [15] L.B. Guyton de Morveau, A. L. Lavoisier, C.-L. Berthollet, A. de Fourcroy, "Méthode de Nomenclature Chimique", Couchet, Paris (France), 1787.
- [16] Jefferson Lab – It's Elemental: <http://education.jlab.org/itselemental>.
- [17] Web Elements: <http://www.webelements.com>.
- [18] USGS Minerals Information: Commodity Statistics and Information: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity>.
- [19] Arno A. Evers FAIR-PR (dato tratto da "Industrial Gases by the Chemical Economics Handbook, SRI", October 2007): <http://www.fair-pr.com/background/worldwide-hydrogen-productionanalysis.php>.
- [20] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 17° ed., 2010: <http://hnw.interscience.wiley.com/emw9783527306732/home/>.
- [21] USFS Mineral Commodity Profiles: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mcp.html>.
- [22] Chemistry Explained – Foundations and Applications (2010): <http://www.chemistryexplained.com/Pr-Ro/Radium.html>.
- [23] "Output Declines In U.S., Europe", *Chem. Eng. News*, **88**, issue 27, 54-62 (2010).
- [24] SRI Consulting. Nitric acid, 2007: <http://www.sriconsulting.com/CEH/Public/Reports/757.8000>.
- [25] Reuters Factbox – Sulphuric acid and base metals, april 2009: <http://www.reuters.com/article/idUSLT894143200904030>.
- [26] IAEA.org – Factsheets FAQs – Polonium-210: <http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/polonium210.html>.
- [27] Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Wiley online, 2004 (aggiornato 2010).
- [28] *RCS Chemistry World*, 19-11-2009.
- [29] New World Encyclopedia: http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Hydrochloric_acid.
- [30] R. Betzendhal, "Rare Gases Supply and Demand", Cryogas International June 2007: <http://bgcspeccgas.com> (vai a News and Articles).
- [31] R. Betzendhal, "Rare Gases Market Update", Cryogas International June 2009: <http://bgcspeccgas.com> (vai a News and Articles).

- [32] Resource Investor News That Trades – 2/8/2010:
<http://www.resourceinvestor.com/News/2010/2/Pages/EMC-Metals-will-develop-Rare-Earth-Scandium-Deposit.aspx>.
- [33] MBendi Information Services – World Uranium and Thorium Mining:
<http://www.mbendi.com/indy/ning/urnm/p0005.htm>.
- [34] World Nuclear Association – World Uranium Mining (2010): <http://world-nuclear.org/info/inf23.html>.
- [35] BP Statistical Review of World Energy 2009: <http://www.bp.com/statisticalreview>.
- [36] H. Rossotti, “Diverse Atoms”, Oxford University Press, 1998.
- [37] F.A. Cotton and G. Wilkinson, “Advanced Inorganic Chemistry”, 5^o ed., Wiley, 1988.
- [38] J.D. Lee, “Concise Inorganic Chemistry”, 4^o ed., Chapman and Hall, 1991.
- [39] <http://www.rcs.org/chemsoc/visualelements>.
- [40] H-J. Quadbeck-Seeger, R. Faust, G. Knaus, U. Siemeling, “World Records in Chemistry”, Wiley-VCH, 1999.
- [41] J.C. Bailar Jr., H.J. Emeléus, R. Nyholm, A.F. Trotman-Dickenson, Eds., “Comprehensive Inorganic Chemistry”, Pergamon Press, 1973.
- [42] HyperPhysics Concepts : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nuccon.html>.
- [43] <http://www.chemcool.com/elements>.
- [44] <http://www.lechtech.com/periodic/elements>.
- [45] <http://www.periodictable.com>.
- [46] A. L. Lavoisier, “Traité Élémentaire de Chimie”, Couchet, Paris (France), 1789.
- [47] A.L. Lavoisier, “Considérations générales sur la nature des acides et sur les principes dont ils sont composés”, *Mémoires de l’Académie Royale des Sciences*, 248-260 (1778)