MARCO FONTANI* – MARIAGRAZIA COSTA** – PAOLO MANZELLI**

Finis Materiæ***

The Edges of Matter.

Summary - The Periodic Table of the Elements is one of science's most emblematic outcomes. Since its occurrence in 1869, it underwent an uninterrupted growth and evolution, counting in an ever increasing number of new Elements. In 1999 Elements with atomic numbers 114, 116 and 118 were included, even though at present only the first one is officially confirmed with some certainty. The ongoing evolution of the Periodic System and an increasing number of discoveries are continuously pushing wider the «Edges of Matter».

Il sistema periodico degli elementi è uno degli oggetti più emblematici di tutta la scienza: un singolo documento che racchiude in sé buona parte delle conoscenze di chimica. Nessun'altra disciplina scientifica può vantare qualcosa di simile. Nonostante i cambiamenti radicali che la scienza ha subìto nell'ultimo secolo non c'è stata alcuna rivoluzione nella natura fondamentale del sistema periodico. È quindi notevole che il sistema periodico sia importante tanto per le sue radici storiche quanto per la sua continua attualità.

Risale al 1999 la notizia della scoperta degli elementi 118, 116 e 114 i quali si sommano agli elementi 110, 111 e 112 ancora senza nome. Nell'estate 1995 a Guilford, Inghilterra, la commissione IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) per la nomenclatura di chimica inorganica, ha stabilito i nomi degli elementi di numero atomico compreso tra 101 e 109 non senza suscitare aspre polemiche.

* Dipartimento di Chimica dell'Università di Siena. Via A. Moro, 53100 Siena.

** Laboratorio di Ricerca Educativa in Didattica Chimica e Scienze Integrate: Dipartimento di Chimica dell'Università di Firenze. Via Maragliano 77, 50144 Firenze.

*** Relazione presentata al IX Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (Modena, 25-27 ottobre 2001).

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Ha	106 Sg	107 Ns	108 Hs	109 Mt	110	111	112	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)
(119)	(120)	(121)	(154)	(155)	(156)	(157)	(158)	(159)	(160)	(161)	(162)	(163)	(164)	(165)	(166)	(167)	(168)

LANTHANIDES	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
ACTINIDES	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
SUPER-ACTINIDES	(122)	(123)	(124)	(125)	(126)									(153)

Fig. 1. Futuristica Tavola Periodica degli Elementi proposta dal Lawrence Berkeley National Laboratory agli inizi degli anni novanta: gli elementi 105 e 107 dal 1995 hanno cambiato nome in Dubnio (Db) e Bohrio (Bh). La serie dei Super-Attinidi comprende 32 elementi.

Perché si cercano questi elementi super pesanti con tanta alacrità nel Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) U.S.A., al Joint Institute for Nuclear Research a Dubna, in Russia e al Gesellshaft für Schwerionenforschung (GSI) a Darmstadt in Germania, investendo migliaia di miliardi per una ricerca che nell'arco della nostra vita non avrà certamente ricadute tecnologiche utili? La risposta risiede nel motivo che anima lo *scienziato* a far ricerca: un viaggio che dura tutta una vita verso l'ignoto, la curiosità, l'interesse economico e, perché no, il campanilismo e l'orgoglio nazionale.

La meta dichiarata dei fisici è di sintetizzare nuovi elementi super pesanti, nel tentativo di raggiungere quell'elemento che abbia un nucleo composto da un *numero magico* di nucleoni tale che gli conferisca un tempo di vita medio di anni e non di poche frazioni di secondo. Anche gli elementi che hanno un numero di nucleoni vicino ad un numero magico secondo la teoria sarebbero più stabili, per cui la ricerca di elementi super pesanti va avanti.

Qualcuno ha detto che ogni società celebra sé stessa con la costruzione di opere d'arte o di altro genere; anche in questo caso i nomi degli ultimi elementi, Assio, Meitnerio, Rutherfordio, Dubnio, Seaborghio e Bohrio sono esempi di autocelebrazione all'interno delle scienze fisiche.

Al principio del secolo XIX la scoperta di nuovi elementi aveva fatto sì che i chimici si ponessero la seguente domanda: gli elementi presenti sulla crosta terrestre sono un numero finito o infinito? Dopo che il concetto di Tavola Periodica degli Elementi (1869) fu accettato universalmente sembrò che la domanda avesse una risposta semplice.

Gli elementi chimici erano un numero finito: gli elementi non ancora scoperti prendevano il nome di elementi mancanti e a ciascuno di loro veniva lasciata una casella vuota nel sistema periodico. L'Uranio, scoperto nel 1789, si era rivelato l'elemento con numero atomico più elevato (Z=92) fino al 1940. Risultò così che cercare un elemento mancante era un po' come pescare in un barile i cui limiti erano rappresentati dall'Uranio.

Già nel decennio successivo all'enunciazione del concetto di Tavola Periodica, la scoperta di molti degli elementi delle *Terre Rare* creò non pochi problemi nel posizionarli correttamente nel sistema periodico. A titolo d'esempio nessun chimico o fisico all'inizio del XX secolo poteva dire quanti fossero gli elementi delle *Terre*

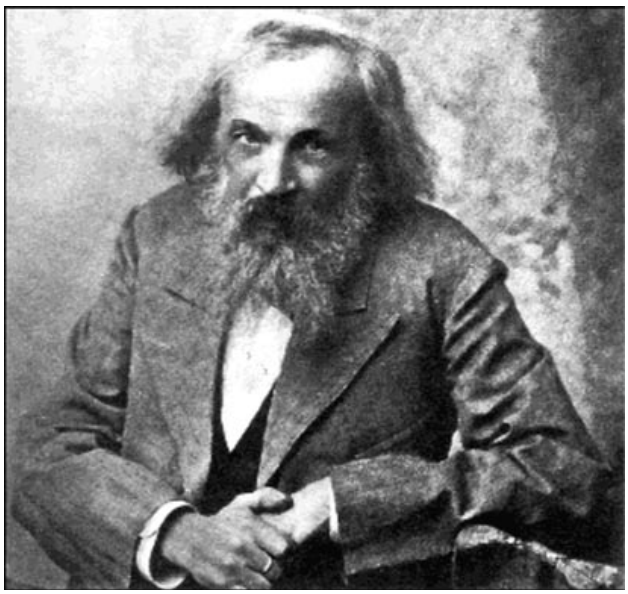

Fig. 2. Il chimico Dimitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907), padre della Tavola Periodica degli Elementi; il suo nome compare degnamente tra le figure del *Parnaso* della scienza moderna, nonché nella casella 101 della sua *creatura* col nome Mendelevio (Md).

Rare. Anche questi elementi, che non trovavano posizione nel sistema periodico, erano un numero infinito?

La radioattività e gli isotopi radioattivi (trattati in un primo momento ciascuno come elemento distinto) complicarono ulteriormente le cose. La *legge* di Moseley (1887-1915) del 1913 limitò il numero di elementi e spianò la strada verso il concetto di isotopia. Infine nel 1923 gli studi quantistici di Niels Bohr (1885-1962) permisero di dirimere una lunga controversia che lo opponeva all'ultimo grande chimico classico Georges Urbain (1872-1938): il numero degli elementi delle *Terre Rare* non era 15 come supponeva il francese ma 14 come chiarì il fisico danese.

I fisici con Emilio Segrè (1905-1989) dal 1937 (data della scoperta del Tecnezio) iniziarono a soppiantare i chimici nello scoprire nuovi elementi. Già nel 1925 il fisico tedesco R. Swinne alla luce delle conoscenze sulla radioattività ipotizzò che ci potessero essere tracce di elementi transuranici nella *polvere stellare* racchiusa nei ghiacci della Groenlandia. Egli disse di essere in grado di identificare dallo spettro di diffrazione X, eseguito su un campione di questa *polvere artica*, l'elemento 108. Comunque, la certezza che l'elemento di numero atomico più elevato fosse l'Uranio, certezza della quale alcuni chimici avevano fatto un motivo d'orgoglio, s'infranse al sorgere della fisica atomica.

La scoperta del protone e l'ipotesi del neutrone ad opera del più grande fisico sperimentale del secolo, E. Rutherford (1871-1937), la scoperta della radioattività artificiale da parte dei coniugi Frédéric (1900-1958) e Irène Joliot-Curie (1897-1956), dei neutroni lenti grazie a E. Fermi (1901-1954) e l'invenzione di E. O. Lawrence (1901-1958), il ciclotrone, furono le pietre miliari che portarono a questa rapida evoluzione del pensiero scientifico.

Poco dopo la scoperta del Tecnezio, durante la II Guerra Mondiale, fisici statunitensi scoprirono i seguenti elementi: Astato, Nettunio, Plutonio, Americio e Curio. Intanto i chimici avevano scoperto Francio (1939) e Promezio (1945), ma era stato un sussulto d'orgoglio col quale i chimici cercavano di opporsi al travolgente sconfinamento delle scienze fisiche nella ricerca degli elementi.

Nel secondo dopoguerra la sintesi di nuovi elementi transuranici era dovuta ai ciclotroni, sempre più grandi e capaci di accelerare particelle e nuclei di massa maggiore. L'invenzione del ciclotrone può esser facilmente paragonata all'invenzione della pila di Alessandro Volta (1745-1827) (che permise la scoperta di molti elementi alcalini e alcalino-terrosi) o dello spettroscopio (che permise la scoperta del Gallio, Indio, Tallio, il riconoscimento di alcuni elementi delle terre rare, nonché dell'Elio e altri gas nobili). Le analogie non finiscono qui. Infatti sia Lawrence che Volta non utilizzarono personalmente le loro scoperte per motivi pratici lasciando questo tipo di indagine rispettivamente a G. T. Seaborg (1912-1999) e H. Davy (1778-1829).

Il 1949 segnò la nascita del Berkelio; nel 1950 vide la luce il Californio; nel 1952 fu scoperto l'Einstenio e l'anno dopo il Fermio. Nel 1955 e tre anni dopo

furono sintetizzati per mezzo di reazioni nucleari, rispettivamente il Mendelevio e Nobelio, tutti scoperti da Glenn T. Seaborg, Albert Ghiorso (n. 1915) e collaboratori al Lawrence Berkeley National Laboratory. Nello stesso 1958 il LBNL pianse la scomparsa del suo direttore e fondatore Ernest Orlando Lawrence, inventore del ciclotrone che aveva permesso la scoperta di così tanti nuovi elementi. Nel 1961 in occasione della scoperta del 103° elemento Seaborg e Ghiorso proposero di nominarlo Laurenzio in onore del loro maestro.

Nel 1957 i ricercatori del laboratorio di Dubna dettero l'annuncio della scoperta dell'elemento 104. Essi in un primo momento credettero di aver ottenuto l'elemento 104 secondo la reazione:

$$^{242}Pu(^{22}Ne,4n)^{260}Jl$$ [1]

ma fu presto chiaro che si trattava di un errore. Il prodotto che ottennero e che aveva una vita media di 14 millisecondi era ^{242}Am. La notizia della sintesi di questo elemento tornò alla ribalta nel 1964, quando i russi annunciarono di aver sintetizzato diversi isotopi di questo *transuranico* fra cui l'isotopo $^{261}104$ era quello più stabile ($t_{1/2}$=1 minuto). Sopra questi campioni furono condotti alcuni test chimici per appurarne la natura. Il nome che fu proposto fu Kurchatovio e il simbolo Ku, ma nel 1969 la scoperta fu rivendicata da A. Ghiorso che lo volle chiamare Rutherfordio in onore al grande fisico neozelandese (nome che attualmente viene indicato per nominare questo elemento) e dargli il simbolo Rf. Nel febbraio del 1970 i russi ci riprovarono e partendo da una targhetta di Americio sintetizzarono il 105° elemento e si affrettarono a chiamarlo Nielsbohrio. La reazione secondo la grafia abbreviata di Bethe è:

$$^{243}Am(^{22}Ne,5n)^{260}Ns$$

Due mesi più tardi gli americani del gruppo del LBNL bombardarono un bersaglio di Californio con un fascio di ioni Azoto per ottenere:

$$^{249}Cf(^{15}N,4n)^{260}Ha$$

l'elemento di numero atomico 105 che chiamarono Hahnio. Attualmente questo elemento si chiama Dubnio ed ha simbolo Db.

Fino al 1974, il metodo più efficace per produrre i *transuranici* consisteva nell'irradiare bersagli degli elementi più pesanti con fasci di neutroni o di elementi molto leggeri (fino a Z=8). In questo modo, continuando in progressione, l'équipe

[1] Per un certo periodo questo elemento è stato chiamato Joliotio (Jl).

di G.T. Seaborg e A. Ghiorso ha ottenuto a Berkeley degli elementi con numero atomico fino a 106. Non disponendo di isotopi *transuranici* in quantità sufficiente per farne dei bersagli il russo Yu. Ts. Oganessian assieme al suo collaboratore A. Demin avevano sfruttato un meccanismo diverso, basato sul metodo della *fusione-evaporazione* a bassa energia di eccitazione.

Si trattava di impiegare bersagli meno pesanti, ma anche più stabili, come il Piombo (Z=82) o il Bismuto (Z=83). Il nucleo composto, che risultava dalla fusione tra il bersaglio e il proiettile, è prodotto con un'energia di eccitazione la più debole possibile, ossia con una *temperatura* corrispondentemente più bassa. La fusione degli ioni accelerati con il bersaglio è seguita dalla fuoriuscita, in gergo «evaporazione», di neutroni dai nuclei coinvolti.

Le reazioni nucleari in questione sono state eseguite a Dubna (la prima nel 1974 la seconda nel 1976) all'interno di un acceleratore di ioni Cromo:

$$^{207}Pb + {}^{54}Cr \rightarrow {}^{259}Sg + 2n$$

e

$$^{209}Bi + {}^{54}Cr \rightarrow {}^{261}Bh + 2n$$

Con breve anticipo sui russi, Ghiorso e i suoi collaboratori riuscirono a sintetizzare l'elemento 106 che volle chiamare Seaborghio e simbolo Sg in onore del collega e maestro G.T. Seaborg. La sintesi del Seaborghio è l'ultimo esempio di sintesi di un *transuranico* basata sul bombardamento con ioni leggeri di un bersaglio costituito a sua volta da un *transuranico* avente Z poco inferiore.

Infatti basandosi sul metodo della *fusione-evaporazione* a bassa energia di eccitazione, il tedesco Peter Armbruster, al GSI di Darmstadt, ha identificato nel 1981 l'elemento 107 (Bohrio) e nel 1982 ha scoperto l'elemento 109 che ha chiamato Meitnerio dal nome della fisica austriaca Lise Meitner (1878-1968). Due anni dopo lo scopritore dei due precedenti elementi sintetizzò il 108, battezzato Assio. La nascita ufficiale di questo elemento viene fatta risalire al 22 maggio 1984 a Parigi, in occasione del convegno organizzato per celebrare il 50° anniversario della scoperta della radioattività artificiale.

Nel maggio 1994 Albert Ghiroso raccontò che nel 1991 al LBNL intravide l'esistenza dell'elemento 110 di massa 267 ($^{267}110$), ma la scoperta ufficiale di questo elemento sembra che debba attribuirsi a P. Armbruster e Sigurd Hofmann, i quali il 9 novembre 1994 lo sintetizzarono inequivocabilmente bombardando una targhetta di ^{208}Pb con ^{62}Ni ottenendo l'isotopo $^{269}110$. Il 23 novembre dello stesso anno i ricercatori tedeschi ottennero l'isotopo $^{271}110$ dalla seguente reazione:

$$^{208}Pb(^{64}Ni,n)^{271}110$$

Un mese più tardi, esattamente l'otto dicembre, gli stessi scienziati sintetizzarono l'elemento $^{272}111$:

$$^{209}Bi(^{64}Ni,n)^{272}111$$

Infine nelle prime settimane del 1996 il team tedesco del GSI creò l'elemento di numero atomico 112 e massa 265, rifiutando di proporre un nome fintantoché la commissione IUPAC non avesse approvato in modo definitivo il nome Assio (dall'antico nome latino della regione tedesca dove sorge il GSI, l'*Hassia*).

La creazione dei tre nuovi elementi, 114 a Dubna, 116 e 118 al LBNL è certamente l'evento scientifico del 1999, perlomeno nel campo degli elementi super pesanti e della fisica atomica.

L'elemento di numero atomico 114 è stato sintetizzato attraverso una reazione di fusione nucleare da Yu. Ts. Oganessian a Dubna, bombardando una targhetta di ^{242}Pu e ^{244}Pu con ioni ^{48}Ca:

$$^{244}Pu(^{48}Ca,3n)^{289}114$$

Il vantaggio di questa reazione risiede nel fatto che il proiettile ^{48}Ca è un isotopo ricco di neutroni (N=28). Dalla reazione scaturisce l'elemento $^{A}Z=^{289}114$ e $^{A}Z=^{287}114$ (cioè con un Z numero magico). Il numero magico di neutroni N=A-Z dalla teoria risulta essere 184. Nei due isotopi prodotti a Dubna N è 175 ($^{289}114$) e 173 ($^{287}114$); lontano quindi dal centro dell'isola della stabilità nucleare $^{A}Z=^{298}114$, tuttavia questi nuclidi sono sufficientemente stabili da avere una vita media di quasi un minuto.

Nell'ultimo esperimento compiuto al LBNL è stata usata una targhetta di ^{208}Pb: questo isotopo ha un guscio chiuso di protoni (Z=82) e neutroni (N=126) (il riempimento di nucleoni avviene nel nucleo analogamente al riempimento degli orbitali elettronici) che gli conferisce una inusuale stabilità. L'energia di legame eccedente di questo sistema a guscio doppiamente chiuso porta a un sistema nucleare più *freddo* che necessita dell'evaporazione di un solo neutrone per evitare la fissione spontanea (FS). Come proiettile è stato accelerato ^{86}Kr, incapace di ottenere direttamente Z=114. La reazione di fusione ha come prodotto l'elemento 118

$$^{208}Pb(^{86}Kr,n)^{293}118$$

che per successivi decadimenti α genera gli elementi 116 e 114.

$$^{293}118(\alpha,\gamma)^{289}116$$

$$^{289}116(\alpha,\gamma)^{285}114$$

La stabilità dell'isotopo di massa 285 dell'elemento 114 scoperto al LBNL ha un tempo di vita media di quattro ordini di grandezza inferiore a quello ($^{289}114$) scoperto a Dubna. Così i ricercatori di Dubna, benché non abbiano scoperto l'elemento con numero atomico più elevato, hanno fatto una scoperta ben più importante: hanno messo piede per primi sulla *spiaggia dell'isola della stabilità nucleare*.

La sintesi degli elementi transuranici ha conosciuto l'apoteosi negli anni novanta. Un rapido calcolo ci dice che negli anni quaranta gli elementi scoperti sono stati 7 (di cui 5 transuranici); negli anni cinquanta 5 (tutti transuranici); negli anni sessanta 2, così come negli anni settanta; 3 negli anni ottanta ed infine 6 negli anni novanta.

Tutti questi elementi artificiali non hanno nuclei stabili perché emettono particelle α, β o subiscono la fissione spontanea (FS). Le vite medie di questi nuclidi sono legate da una relazione di proporzionalità inversa al loro numero atomico. Tanto maggiore è Z tanto minore è il tempo di vita media dell'elemento. Elementi super pesanti hanno vita media brevissima (per esempio l'isotopo $^{269}110$ ha una vita media di 170 ms); inoltre gli eventi (collisioni) utili, cioè che portano alla fusione dei nuclei accelerati, sono molto scarsi.

L'isola della stabilità nucleare

La stabilità del nucleo è direttamente correlata alla sua energia di coesione, che è la differenza tra la sua massa e quella dei suoi componenti.[2] In un primo tempo il nucleo è stato trattato come un insieme statistico di neutroni e protoni. Questo modello, in cui il nucleo è considerato analogo ad una *goccia liquida carica*, riesce a spiegare bene molte proprietà dei nuclei. Tuttavia, vi è anche una forte evidenza sperimentale per una struttura a strati, analoga alla struttura a *guscio* degli elettroni negli atomi, sebbene non così pronunciata. Il fatto che un certo numero di neutroni e di protoni portano alla formazione di configurazioni particolarmente stabili venne ipotizzato da W. Elsasser nel 1934. Tuttavia, ad eccezione del tentativo di spiegare la ben conosciuta speciale stabilità dei nuclei leggeri con valori di Z e N uguali a 2, 8 e 20 (rispettivamente ^{4}He, ^{16}O e ^{40}Ca), il soggetto della struttura nucleare a strati non fu preso in grande considerazione fino al 1948, quando M. G. Mayer (1906-1972) mise in evidenza i *numeri magici* addizionali 50 e 82 per i protoni e 50, 82 e 126 per i neutroni. Da allora anche 28 è stato riconosciuto come numero magico sia per i protoni che per i neutroni.

Infine la meccanica quantistica ha dato informazioni ben maggiori di quelle fino ad allora ottenute sulle energie degli orbitali che i nucleoni occupano nel

[2] La massa di ogni nuclide è sempre inferiore alla somma delle masse dei singoli costituenti, protoni e neutroni. La perdita di massa che accompagna la formazione dei nuclidi è chiamata *difetto di massa* ed è correlata all'energia di coesione del nucleo attraverso l'equazione di Einstein, $E=mc^2$.

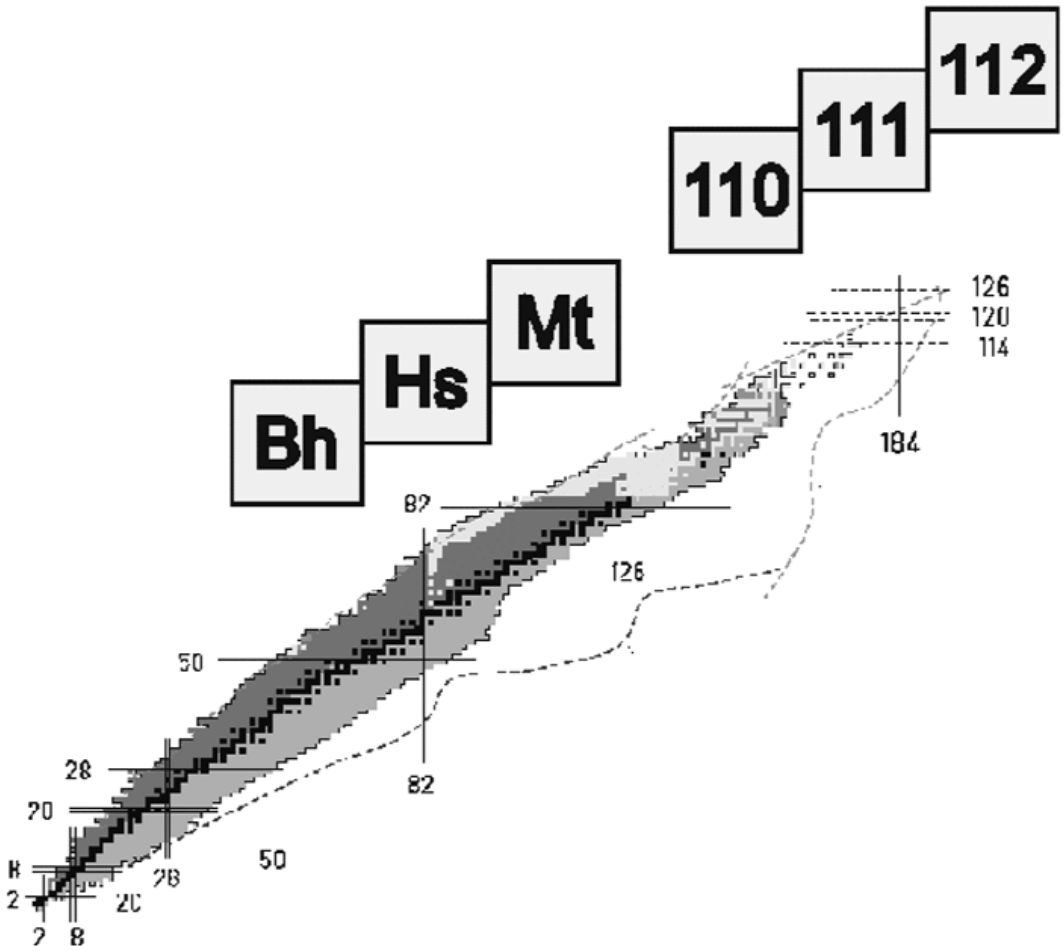

Fig. 3. L'isola della stabilità nucleare. Il diagramma, o carta di Segrè, con in ascissa riportato N (numero di neutroni) e in ordinata Z (numero atomico).

nucleo. Un numero magico di nucleoni viene fuori quando essi completano i livelli appena sotto la discontinuità nel guscio. La compressione delle energie dei livelli, che ciascun nucleone occupa, può portare ad un significativo incremento dell'energia totale di legame e conseguentemente alla stabilità. Questo effetto *guscio* persiste oltre un certo raggio dal numero magico di nucleoni. Questa stabilità è massima se sia i protoni che i neutroni sono numeri magici e decresce se ci allontaniamo da uno o da entrambi. A metà degli anni sessanta Adam Sobiczewski (n. 1931) riportò tra i risultati dei suoi calcoli teorici due nuovi numeri magici: Z=114 e N=184. Pertanto l'atomo che verrà ad avere entrambi questi numeri magici si troverà al centro

dell'isola della stabilità nucleare. Da ulteriori studi teorici l'isola della stabilità nucleare verrà a trovarsi tra $104 \leq Z \leq 124$.

Episodi incresciosi nell'attribuzione dei nomi

L'attribuzione dei nomi degli elementi che vanno dal 101 al 109 costituisce l'esempio di come scienziati capaci di superare gli ostacoli che la Natura ha messo davanti a loro, siano incapaci di superare gli orgogli nazionali ed accademici. Intrighi e colpi di scena si sono succeduti dalla fine degli anni cinquanta, quando furono scoperti il Mendelevio e Nobelio, fino al congresso IUPAC di Guilford del 1995. In questo periodo di tempo i vari gruppi di ricerca si sono scambiati aspre lettere attraverso le pagine della rivista *Nature*. Perché la Commissione IUPAC ha atteso così tanto tempo per fissare il nome ad elementi che erano stati scoperti quasi quaranta anni prima? Secondo alcuni la Commissione si sarebbe riunita una volta che ci fosse stato un sufficiente numero di nuovi elementi in attesa di nome. Secondo altre fonti invece, la Commissione avrebbe atteso alcuni anni per non incorrere nell'errore di legittimare false scoperte. Ma le due ipotesi sembrano poco plausibili. Durante gli anni della *guerra fredda* infatti, nessuna iniziativa fu presa dalla Commissione IUPAC e soltanto dopo la dissoluzione dell'Unione Sovietica, il 31 dicembre 1991, questa manifestò il desiderio di voler dirimere le controversie legate ai nomi degli elementi di numero atomico compreso tra 101 e 109. Sfortunatamente la riunione che ha portato all'attribuzione dei nomi di questi elementi super pesanti ha assunto la fisionomia del congresso di Berlino del 1878 in cui fu spartito il continente africano tra le maggiori potenze coloniali dell'epoca. I *team* che si sono contesi «palmo a palmo» il nome degli elementi super pesanti sono gli americani del LBNL, i russi dell'istituto di Dubna, i tedeschi del GSI e gli svedesi dell'Accademia di Fisica dell'Istituto Nobel.

L'errata scoperta del Nobelio da parte dell'Accademia di Fisica Svedese ha prodotto come risultato il fatto che il nome di questo elemento proposto dal gruppo scandinavo fosse mantenuto, benché evidenze sperimentali corrette dell'esistenza dell'elemento 102 siano state riscontrate solo più tardi da scienziati americani e russi.

Più increscioso è stato l'episodio dell'attribuzione dei nomi agli elementi 103, 104, 105 e 106. Furono rivendicati dagli americani (con i nomi di Laurenzio, Rutherfordio, Hahnio e Seaborghio) e dai russi (con i nomi: Kurchatovio, Nielsbohrio, Dubnio e Joliotio).

La scoperta dell'elemento 107 è stata contesa dal gruppo americano, russo e tedesco, mentre gli elementi 108 e 109 solamente da quest'ultimo *team*.

Per sottolineare la non chiara motivazione che ha portato all'attribuzione dei nomi di questi elementi a Guilford nell'estate del 1995 basta osservare la composizione della commissione esaminatrice: il presidente era di nazionalità americana come un terzo dei membri, mentre per i russi non era presente nessun rappresen-

tante nazionale. Non è difficile trarre le conseguenze di ciò: di dieci elementi sei hanno preso il nome su indicazione del *team* americano (anche il Nobelio rientra tra questi elementi, infatti gli americani a cui è stata successivamente riconosciuta la scoperta di questo elemento hanno voluto mantenerne il nome proposto dai fisici svedesi), tre sono stati nominati secondo quanto il gruppo tedesco aveva proposto (Bohrio, Assio e Meitnerio) ed infine l'elemento 105 ha preso il nome di Dubnio dal luogo dove lavora il gruppo di ricercatori russi, Dubna.

Infine c'è da osservare come il LBNL abbia volontariamente ignorato il divieto di nominare l'elemento 106 col nome Seaborghio. Infatti, una regola dello statuto IUPAC vieta la possibilità che un elemento porti il nome di una persona ancora in vita, e nel 1994, Glenn T. Seaborg era ancora vivo. Inoltre lo stesso organismo aveva fatto notare che l'elemento 106 si sarebbe dovuto chiamare Rutherfordio e si raccomandava affinché gli elementi 104 e 105 prendessero i nomi Joliotio e Dubnio.

Fig. 4. A destra nella foto il famoso radio-chimico Otto Hahn (destra) a colloquio con Albert Ghiorso (sinistra) e Glenn Theodore Seaborg (centro) nel 1955. Hahn ricevette il premio Nobel per la chimica 1944 a seguito della scoperta della fissione dell'Uranio. Durante la guerra lavorò *alacremente* alla costruzione della bomba atomica tedesca e per questo trascorse sei mesi di prigionia in Gran Bretagna. A seguito di controversie tra americani e russi il nome del 104° elemento non porta più il suo nome, Hahnio.

La potente *lobby* del LBNL e della ACS (American Chemical Society) ha pubblicamente intimato alla commissione IUPAC, attraverso le pagine della rivista *Nature*, di modificare la norma che le impediva di nominare l'elemento 106, Seaborghio, sotto la minaccia di riconoscere nulla qualunque decisione la commissione IUPAC avesse preso diversa dalla loro. Nel 1995, vivente Seaborg, l'elemento 106 si è fregiato del simbolo Sg.

Affinché questi deplorevoli incidenti non si ripetano sarebbe giusto che in futuro la commissione IUPAC, attribuisca rapidamente il nome ad ogni nuovo elemento e riconosca la priorità di questo o quel gruppo di ricerca attraverso chiari documenti ufficiali. In un mondo come il nostro, dove le notizie e l'informazione scientifica sono trasmesse in tempo reale, non è pensabile di dover aspettare decine e decine di anni prima che una scoperta venga riconosciuta.

Dagli atomi alle stelle

Per tornare alla domanda che i chimici dall'epoca di Berzelius si erano posti, ossia quale sia il limite per il numero degli elementi, possiamo tentare di dare una risposta alla luce delle conoscenze attuali. Gli elementi noti al 31 ottobre 2001 sono 115. L'elemento di numero atomico più elevato è il 118, ma mancano ancora all'appello il 117, il 115 e il 113.

Fin dove l'uomo sarà capace di spingersi nella sintesi di elementi super pesanti? Un giorno sarà forse possibile accelerare un fascio di ioni Uranio e con questo bombardare una targhetta dello stesso elemento. Oppure sarà possibile far collidere tre fasci di ioni Uranio per ottenere un super atomo costituito dalla somma delle masse dei tre nuclei? Tutto questo è affascinante ma per il momento fantasioso.

Infatti il problema è legato sostanzialmente a due concetti: il primo è il tempo di vita medio dell'elemento sintetizzato; alcuni isotopi degli elementi 110, 111 e 112 hanno vita media di 10^{-6} s, ma sono previsti tempi inferiori per elementi con Z ancora maggiore; con eccezione di quelli costituiti da un numero magico di nucleoni.

Il secondo concetto risiede nella definizione di fusione di due nuclei. Se consideriamo due elementi A e B che per collisione generano l'elemento C ci troviamo di fronte a due casi: il primo caso è che C, ovviamente instabile, decada secondo i classici meccanismi di decadimento radioattivo. Il secondo caso che può accadere è quello che C ripercorra la stessa strada per dare di nuovo A e B (fenomeno detto *scattering*).

Dalle leggi della fisica atomica sappiamo che il tempo minimo affinché si possa verificare una interazione tra due nucleoni è di circa 10^{-11} s. Se si ammette che man mano che ci si allontana dall'isola della stabilità nucleare un elemento abbia vita media sempre più breve, si può supporre che un *superpesante* con vita media inferiore a 10^{-11} s non possa esistere. Se osservassimo quindi un fenomeno di scattering con tempi dell'ordine di 10^{-11} s, non saremmo in grado di dire se esso ha portato alla formazione di un nuovo elemento.

In fin dei conti abbiamo ottenuto la prova che il numero degli elementi *sintetizzabili* è finito. In questo caso il limite che possiamo dare alla materia non viene espresso direttamente in Z ma viene imposto dal tempo di interazione delle particelle che obbediscono alle leggi della *forza nucleare forte* e conseguentemente al tempo di vita media dell'elemento sintetizzato.

Se si affronta lo stesso problema da un altro punto di vista, si osserva che atomi costituiti fino a circa $2{,}4\times10^{2}$ nucleoni obbediscono alle leggi delle *forza nucleare forte* cioè la forza che tiene uniti i componenti del nucleo, ma *strutture atomiche* contenenti ca. 10^{57} nucleoni risentirebbero anche della forza gravitazionale, che è notoriamente molto più debole della *forza nucleare forte*, ma il cui effetto si avverte a maggiore distanza. Viene allora da chiedersi che massa possa avere un oggetto costituito da 10^{57} nucleoni, ma soprattutto se esso può esistere. La prima risposta ci dice che avrebbe una massa di circa 10^{33} g, pressappoco quella del sole; la seconda risposta è sì, a condizione che tutti o quasi i 10^{57} nucleoni siano neutroni. Oggetti con queste caratteristiche sono le così dette *stelle a neutroni*. Il ter-

mine stelle a neutroni fu coniato nel 1934 da W. Baade (1893-1960) e F. Zwicky (1898-1974) i quali suggerirono che l'energia dissipata dalle supernovae provenga dalla condensazione di una stella con caratteristiche solari in una stella a neutroni.

Le stelle a neutroni sono composte per circa il 99%-99.9% da neutroni e per il restante da protoni (ed elettroni). Esse hanno un raggio di 3-10 Km. Le stelle a neutroni derivano, secondo un modello di evoluzione stellare, da stelle con masse comprese tra $0.4 \leq M_s \leq 4$ dove M_s è la massa solare. La densità (r) di una stella a neutroni è facilmente ricavabile dalla seguente relazione:

$$\varrho = \frac{10^{33}g}{\frac{4}{3}\pi r_s^3}$$

r_s (raggio di un stella a neutroni di massa pari a quella solare) = 4.4×10^5 cm da cui si ricava $\varrho \approx 10^{15}$ gcm^{-3}.

Densità del genere erano del tutto inspiegabili all'inizio del XX secolo: solidi e liquidi erano ritenuti sostanzialmente incompressibili, perché si riteneva che gli atomi si toccassero gli uni con gli altri (il massimo di densità è raggiunto dall'Osmio con 22.5 gcm^{-3}). Ma nel 1911 le esperienze di Rutherford sullo *scattering* delle particelle a su una lamina d'Oro avevano dimostrato che gli atomi sono fatti essenzialmente di vuoto con un piccolissimo nocciolo solido, il nucleo: ed appunto i nuclei atomici hanno densità dell'ordine di 10^{15} gcm^{-3}.

Possiamo paragonare una stella a neutroni ad un elemento transuranico super pesante. Limitandosi a considerare le proprietà fisiche delle stelle a neutroni ci possiamo azzardare a chiamare questi corpi celesti col nome di *teraelementi*, (dal greco *téras* + elementi, ossia elementi portentosi), per analogia con i prefissi usati nel sistema internazionale. Secondo questa conclusione si potrebbe dire che in due distinti domini esistono «elementi» stabili. Queste regioni espresse come numero di massa, che per un calcolo qualitativo si assume uguale al numero di nucleoni, sono comprese tra: $10^0 \leq A \leq 2.38\times10^2$ e $10^{56} \leq A \leq 10^{58}$.

Addenda

Il gruppo di Berkeley, che nel 1999 aveva annunciato la sintesi degli elementi 118 e 116, ha ritrattato tale scoperta. La ritrattazione è stata comunicata attraverso la *pagina web* del LBNL il 27 luglio 2001. A detta dei curatori, tra breve, seguirà una comunicazione scritta sulle pagine del *Physical Review Letters*, la stessa rivista che ne annunciò la scoperta. Gli scienziati di Berkeley hanno così intenzione di tracciare il motivo della loro ritrattazione. Questa ritrattazione è seguita anche alla forte pressione esercitata sul gruppo del LBNL da parte di altri centri di ricerca, quali il GSI e l'Istituto di Ricerca Chimica e Fisica RIKEN,[3] in Giappone, i quali non sono stati capaci di riprodurre gli stessi risultati sperimentali ottenuti a Berkeley nel 1999.

[3] L'Istituto RIKEN fu creato nel 1916 per decreto della trentasettesima Dieta Imperiale. L'acronimo RIKEN deriva dalla crasi del nome giapponese Rikagaku Kenkyusho.

Tabella – Gli elementi transuranici noti al 25 ottobre 2001. Gli elementi i cui numeri atomici sono indicati tra parentesi non sono stati ancora scoperti. Nel 1995 la commissione IUPAC per la nomenclatura in chimica inorganica ha assegnato i nomi agli elementi di numero atomico compreso tra 101 e 109.

Numero Atomico	Elemento	Simbolo	Etimologia del nome	Data della scoperta	Scopritore
93	Nettunio	Np	Nettuno	1940	McMillan e Abelson
94	Plutonio	Pu	Plutone	1940	McMillan e Seaborg
95	Americio	Am	America	1944	Ghiorso e Seaborg
96	Curio	Cm	Pierre e Marie Curie	1944	Seaborg et al.
97	Berchelio	Bk	Berkeley, U.S.A.	1949	Seaborg et al.
98	Californio	Cf	California	1950	Seaborg et al.
99	Einstenio	Es	Albert Einstein	1952	Ghiorso et al.
100	Fermio	Fm	Enrico Fermi	1953	Ghiorso et al.
101	Mendelevio	Md	D. I. Mendeleev	1955	Seaborg et al.
102	Nobelio	No	Alfred Nobel	1958	Ghiorso et al.
103	Laurenzio	Lr	Ernest O. Lawrence	1961	Ghiorso et al.
104	Rutherfordio	Rf	Ernest Rutherford	1969	Ghiorso et al.
105	Dubnio	Db	Dubna, Russia	1970	Flerov et al.
106	Seaborghio	Sg	Glenn T. Seaborg	1974	Ghiorso et al.
107	Bohrio	Bh	Niels Bohr	1981	Armbruster et al.
108	Assio	Hs	*Lat., Hassia*; Assia	1982	Armbruster et al.
109	Meitnerio	Mt	Lise Meitner	1984	Armbruster et al.
110	Ununnilio	Uun	…	1994	Armbruster e Hofmann
111	Unununio	Uuu	…	1994	Armbruster e Hofmann
112	Ununbio	Uub	…	1996	Armbruster e Hofmann
(113)	–	–	–	–	–
114	Ununquadio	Uuq	…	1999	Oganessian et al.
(115)	–	–	–	–	–
116	…[4]	…	…	1999	Ninov, Ghiorso et al.
(117)	–	–	–	–	–
118	…[4]	…	…	1999	Ninov, Ghiorso et al.

Ringraziamenti

Ringraziamo i professori Piero Zanello, Arnaldo Cinquantini del Dipartimento di Chimica dell'Università di Siena; Pier Giorgio Bizzeti del Dipartimento di Fisica Università di Firenze e Claudio Chiuderi dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, per il loro sostegno e per i preziosi suggerimenti. Abbiamo accumulato, inoltre, un enorme debito di riconoscenza verso il compianto Michele Della Corte (1915-1999) il quale è stato per noi di continuo incitamento con la sua grande e *contagiosa* vivacità intellettuale.

[4] Nell'estate del 2001 gli scienziati del gruppo di Berkeley hanno ritrattato la scoperta di questo elemento.

BIBLIOGRAFIA

ROWLEY N., *Nature*, vol. 400, 209, 1999.
OGANESSIAN Yu. Ts. et al., *Nature*, vol. 400, 242, 1999.
HOFMANN S., in *Proc. VI Int. School-Seminar on Heavy Ion Physics*, Dubna 1997 (Ed. Yu. Ts. Oganessian & R. Kalpakchieva) 385 (World Scientific, Singapore, 1998).
FRIELANDER G., KENNEDY J.W., *Chimica Nucleare e Radiochimica*, Ed. Carlo Manfredi, Milano 1965.
TRIFONOV D.N., TRIFONOV V.D., *Chemical Elements, how they were discovered*, MIR Publishers, Moscow, 1982.
SEABORG G.T., SEGRÈ E.G., *Nature*, vol. 159, 863, 1947.
PERRIER C., SEGRÈ E.G., *Journ. of Chem. Phys.*, 5, 712, 1937.
MARINSKY J.A., GLENDENIN L.E., CORYELL Ch. D., *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 69, 2781, 1947.
VERRALL M., *Nature*, vol. 372, 306, 1994.
LEHRMAN S., *Nature*, vol. 371, 639, 1994.
News in Brief, *Nature*, vol. 379, 762, 1996.
News in Brief, *Nature*, vol. 389, 10, 1997.
HOFFMAN D., *Nature*, vol. 373, 471, 1995.
SOBICZEWSKI A., *Phys. Particles Nuclei*, vol. 25, 259, 1993.
Pure and Appl. Chem., vol. 69, N° 12, 2471, 1997.
BRACCESI A., *Esplorando l'Universo*, Ed. Le Ellissi - Zanichelli, Bologna, 1988.
ARMBRUSTER P. et al., *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.*, 35, 135, 1985.
HOFMANN S., NINOV V., HESSBERGER F.P., ARMBRUSTER P., FOLGER H., MÜNZENBERG G., SCHÖTT H.J., POPEKO A.G., YEREMIN A.V., ANDREYEV A.N., SARO S., JANIK R., LEINO M., *Zeitschrift für Physik, A* 350, 4, 281, 1995.
HOFMANN S., NINOV V., HEßBERGER F.P., ARMBRUSTER P., FOLGER H., MÜNZENBERG G., SCHÖTT H.J., POPEKO A.G., YEREMIN A.V., SARO S., JANIK R., LEINO M., *Zeitschrift für Physik, A* 354, 229-230, 1996.
POWERS T., *La storia dell'Atomica tedesca – Heisenberg's war*, Ed. Arnoldo Mondadori, Milano, 1994.
Nobel Laureates in Chemistry 1901-1992, Laylin K. James Editor, Lafayette College, American Chemical Society and the Chemical Heritage Foundation, 1993.
Spektakulare Meldungen über neue Elemente, GSI – Nachrichten 3/99.
TRUBERT D. et al., *Comportement chimique de quelques atomes de rutherfordium (Rf, Z = 104) et dubnium (Db, Z = 105) produits à Orsay*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 1, Série II c, p. 642-649, 1998.

Bibliografia elettronica:
1 http://george.lbl.gov./ITG/students/bpeters/65th_ann.html
2 http://www-aix.gsi.de/~demo/wunderland/english/Kapitel_02.html
3 http://goerge.lbl.gov./Science-Articles/Archive/elements-116-118.html
4 http://user88.lbl.gov/element118.html
5 http://www.iupac.org/reports/1997/6912transfermium/index.html
6 www.nobel.se/index.html
7 www.enscp.jussieu.fr/expo/urbain.html
8 www-itg.lbl.gov/Seaborg.talks/65th-anniv/start.html
9 http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/118-retraction.html