



IL RUOLO DEI PROCESSI CHIMICI NELL'ISOLAMENTO DEGLI ELEMENTI

A partire dalla fine del XVIII secolo i chimici si sono interrogati su quanti elementi ci siano e su come ordinarli. È interessante riscoprire il ruolo delle tecniche fisiche e chimiche per l'analisi e la separazione degli elementi. In questa nota saranno presi in considerazione solo i metodi chimici. Questi possono essere suddivisi in quattro categorie: analisi chimica per via umida, elettrolisi, cristallizzazione frazionata e resine a scambio ionico. Questi argomenti saranno analizzati in maniera più approfondita e discussi separatamente.

Introduzione

“La cultura russa non ha dato vita autonomamente alle istituzioni della scienza; né sotto forma di ruolo sociale degli scienziati, né sotto forma di riflessione metodologica distinta” [1]. In Russia la scienza è stata importata in via ufficiale dall'Europa occidentale e, in particolare, dall'Europa protestante, innestata nella cultura preesistente dalla spregiudicata amministrazione di Pietro il Grande (1672-1725). Tuttavia oggi si celebrano i centocinquanta anni della scoperta di un chimico russo, Mendeleev, il quale è riuscito a dare alla scienza uno dei suoi più prodigiosi strumenti: la tavola periodica degli elementi.

Forse Mendeleev fu in grado di sopravanzare scienziati del rango di Lothar Mayer (1830-1895), Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois (1820-1886) e perfino un talentuoso dilettante come John Alexander Reina Newlands (1837-1898) perché aveva l'attitudine culturale di operare non per concetti ma per segni: una attitudine che potremo quasi definire sciamanica e certamente prescientifica. Mendeleev, inoltre, avendo studiato in Germania aveva assorbito dalle discussioni filosofiche giovanili la distinzione netta tra “contenuto” e “significato”: era in un qualche modo prigioniero del materialismo che lo aveva portato a restringere il

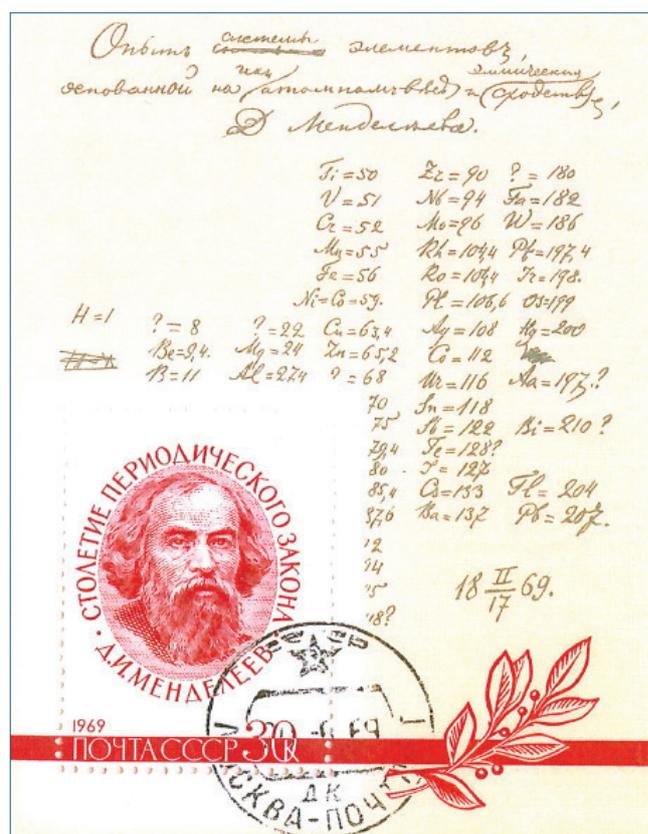


Fig. 1 - Foglietto filatelico emesso in Unione Sovietica in occasione del primo centenario della scoperta della tavola periodica, 1969. Proprietà Mariagrazia Costa

suo ambito concettuale al mondo degli oggetti, gli elementi*. Il passo successivo, dare una casa ai suoi elementi, non fu che mettere ordine nei suoi pensieri.

Altrettanto interessante, a contraltare di tanta eccellenza teorica, è il ruolo dei processi di separazione ed analisi che hanno portato all'isolamento degli elementi. Tali metodologie possono essere suddivise in due: metodi fisici e metodi chimici.

I metodi fisici non rientrano nella presente trattazione. I metodi chimici possono essere grossolanamente suddivisi in categorie: l'analisi chimica per via umida, l'elettrolisi, la cristallizzazione frazionata e le resine a scambio ionico. Queste quattro tecniche di analisi saranno analizzate approfonditamente e discusse separatamente.

L'analisi chimica per via umida: dal torio di Berzelius, al berzelio di Baskerville

Tra i metodi analitici usati per determinare la composizione chimica di una sostanza incognita, sia essa un minerale come un miscuglio, esistono due metodi: il metodo gravimetrico e l'analisi volumetrica (titolazione). Presi insieme costituiscono l'analisi classica. La gravimetria è la determinazione di un elemento o di una specie chimica attraverso la caratterizzazione della massa di un prodotto insolubile di una reazione chimica definita che coinvolge quel determinato elemento. Nel caso specifico in cui l'elemento sia sconosciuto, la sua determinazione porta all'isolamento di un nuovo corpo semplice.

Tracciare la storia dell'analisi gravimetrica equivale a risalire all'inizio storia della chimica. La chimica sperimentale non emerge dai fumi dell'alchimia fino alla fine del XVI secolo; per convenzione si pone la data della pubblicazione del famoso libro *The Sceptical Chymist* nel 1661, da parte di Robert Boyle (1627-1691), come l'inizio della chimica moderna.

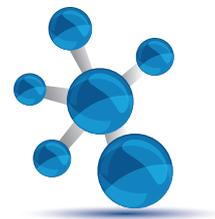
Archiviata la parentesi del flogisto, ad opera di Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794), nello stesso periodo, il chimico svedese Torbern Bergman (1735-1784), stilò il primo schema sistematico di analisi qualitativa e quantitativa. All'inizio del XIX secolo la chimica entrò in un periodo di grande confusione. La gravimetria si era sviluppata per

tutto il XVIII secolo in modo empirico perché le leggi della composizione chimica non erano state sufficientemente diffuse e ampiamente comprese. Durante questo periodo di confusione, i chimici analitici, con scarso interesse per le questioni teoriche, effettuarono misure gravimetriche molto accurate su metalli, minerali e acqua. Tra questi vanno ricordati i nomi di Richard Kirwan (1735-1812), che pubblicò un libro con l'elenco di tutte le analisi dell'acqua dai tempi di Bergman ai suoi giorni; Martin Heinrich Klaproth (1743-1817), che scoprì molti elementi chimici e Louis Nicolas Vauquelin (1763-1829), il quale era ampiamente conosciuto per possedere il reagentario di sostanze chimiche più puro della sua epoca.



Fig. 2 - Statua di Jöns Jacob Berzelius a Stoccolma.
Foto di Marco Fontani, luglio 2017

*M. Ciardi, Il segreto degli elementi. Mendeleev e l'invenzione del Sistema Periodico, 2019, Microscopi Hoepli.



Tuttavia, la figura dominante di questo periodo fu Jöns Jakob Berzelius (1779-1848). Durante il decennio straordinariamente produttivo compreso tra il 1807 e il 1818, egli ideò il sistema di simboli chimici e notazioni che usiamo oggi, determinò la massa atomica relativa della maggior parte degli elementi conosciuti a quel momento e scoprì ben quattro elementi chimici. Sfortunatamente, durante questo periodo sviluppò anche una personale teoria dualistica che gli precluse la comprensione dell'ipotesi di Avogadro. Forse questa sua divagazione teorica ritardò il progresso delle scienze chimiche e pospose la scoperta della legge periodica di alcuni decenni, ma al tempo stesso va detto che Berzelius fu, forse, il sommo chimico analitico, o per lo meno uno dei più grandi analisti mai esistiti. Al contrario, Carl Remigius Fresenius (1818-1897) si considerò sempre un analista fin dall'inizio della sua straordinaria carriera. Anche se oggi il suo nome dice poco a molti, la sua influenza e il suo contributo alla chimica analitica fu veramente enorme [2].

Un grande passo in avanti nell'isolamento degli elementi chimici e la conseguente formulazione della legge periodica fu dovuto alla nascita della chimica-fisica e al connubio tra questa e l'analisi gravimetrica.

L'applicazione della chimica-fisica alla gravimetria trova il suo miglior esempio nella determinazione delle masse atomiche relative. Il primo ad occuparsi di questo aspetto della chimica all'inizio del XIX secolo fu Jöns Jacob Berzelius. Le sue scoperte diradarono le nebbie della confusione che regnava tra i chimici. Tuttavia la mancata comprensione dell'ipotesi di Avogadro e delle implicite distinzioni tra pesi atomici o molecolari rallentò di alcuni decenni il progresso teorico della chimica: ciò non scoraggiò affatto i chimici, i quali riversarono il loro estro e la loro creatività nella sintesi. La chimica organica fu una temporanea beneficiaria di questa momentanea stagnazione della chimica teorica.

Il chimico belga Jean Servais Stas (1813-1891), nella seconda metà del secolo XIX determinò il peso atomico relativo di dodici elementi con una precisione mai raggiunta da nessun chimico prima. La determinazione chimica dei pesi atomici ha fatto uso dei rapporti di massa, ottenuti attraverso

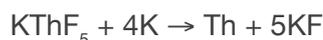
un'attenta analisi gravimetrica. Toccò all'americano Theodore William Richards (1868-1928) portare ai livelli di più elevata precisione per via umida la determinazione della massa atomica relativa di ben 55 elementi chimici. A titolo di esempio il peso atomico dell'argento determinato per via chimica da Richards e dai suoi collaboratori, Gregory Paul Baxter (1876-1953) e Otto Hönigschmid (1878-1945) differisce di una parte su 10^5 dal valore attualmente accettato e determinato per mezzo della spettrometria di massa [2].

Tornando a Jöns Jacob Berzelius, il chimico svedese più famoso di tutti i tempi e fra i maggiori del XIX secolo, si deve a lui la scoperta di cerio, silicio, selenio e torio. Di questi il torio forse è quello che ha la storia più interessante: esso farà da ponte alla presente narrazione, aprendo la strada allo studio della famiglia delle terre rare (alle quali tuttavia non appartiene) e sarà fondamentale per lo studio della radioattività.

Il torio fu scoperto da Berzelius quando era prossimo alla cinquantina, nel 1829. Fu l'ultimo degli elementi che scoprì nella sua lunga e mirabile carriera di chimico: il cerio lo aveva isolato poco più che ventenne nel 1803; erano seguiti il selenio nel 1817 e il silicio nel 1823. La scoperta del torio ebbe inizio nel 1817 dopo che Berzelius, analizzando un campione di gadolinite, un minerale dalla formula complessa, $(\text{Ce,La,Nd,Y})_2\text{FeBe}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$ rinvenne la presenza di un elemento inesistente, che chiamò *gahnio* [3]. Altro non era che ossido di zinco, accidentalmente finito tra i suoi analiti. Questa scoperta segnò una momentanea battuta di arresto per Berzelius. L'occasione per scoprire un elemento sconosciuto, il quarto, e lavare l'onta del discredito di una scoperta fasulla, si presentò nel 1828. In quell'anno il reverendo e mineralogista amatoriale Hans Morten Thrane Esmark (1801-1882), mentre vagabondava sull'isola di Løvøya nel Telemark, trovò un minerale che ritenne sconosciuto: lo inviò a Christiania (l'attuale Oslo) e lo fece analizzare dal padre, Jens Esmark (1763-1839), professore di mineralogia nella locale università. Jens si accorse che il minerale era sconosciuto alla scienza e, a sua volta, lo inviò alla massima autorità in materia, Berzelius, affinché lo analizzasse. Si era giunti intanto nel 1829: Berzelius analizzò il minerale e si accorse che oltre a contenere un elemento che

aveva scoperto pochi anni prima, il silicio, ne conteneva un altro che battezzò torio [4].

Berzelius pubblicò i suoi risultati nello stesso anno e poté così annunciare di aver isolato il primo elemento della famiglia degli attinidi, sebbene in forma altamente impura. Il torio metallico era stato ottenuto per riduzione del $KThF_5$ con potassio metallico:



Per ironia della sorte, nel 1904, il chimico statunitense Charles Baskerville (1870-1922) studioso di chimica minerale e di elementi radioattivi, pensando di rinverdire la memoria di Berzelius, nel momento di annunciare la scoperta di due nuovi elementi li battezzò *carolinio* e *berzelio*. Il primo elemento avrebbe preso il nome in onore dello Stato dove aveva sede la sua Università, la Carolina del Nord, mentre il secondo dal chimico svedese; per Berzelius fu un'effimera gloria postuma: i contemporanei presto si accorsero che Baskerville non aveva isolato nessun nuovo elemento. Baskerville aveva semplicemente "riscoperto" il torio tre quarti di secolo dopo quello stesso chimico che con questa falsa scoperta voleva omaggiare.

Le misteriose forze elettriche imbrigliate da Volta e domate da Davy

Oliver Sacks (1933-2015) ha descritto con amabile prosa e rigore scientifico come le proprietà periodiche possano essere osservate da tutti e nella loro più esuberante manifestazione: con scoppi rumorosi, scintillanti lapilli e fiamme luciferine. Che la chimica sia una scienza è indubbio, ma che questa scienza possa diventar attrazione non solo per i chimici è altra cosa.

"One simple, highly dramatic experiment was putting small lumps of the alkali metals into water and seeing how they increased in reactivity as their atomic weight increased. [...] Potassium would catch fire; rubidium was still more reactive, and cesium exploded when it hit the water, shattering its glass container. One never forgot the properties of the alkali metals after this" [5].

Tutto ebbe inizio a Como con Alessandro Volta (1745-1827), proseguì a Parigi sotto gli occhi increduli del futuro Imperatore Napoleone I (1869-

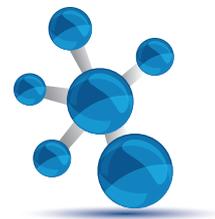


Fig. 3 - Il tempio Voltiano a Como.
Foto di Marco Fontani, aprile 2019

1821) ed ebbe il suo coronamento nel 1808 con sir Humphry Davy (1778-1829) a Londra.

La storia dell'elettrochimica si può fare cominciare nel 1800 quando Alessandro Volta presentò la sua invenzione, la pila voltaica, che altro non era che la prima batteria elettrica moderna. Molti tra i predecessori di Volta avevano studiato quello che ora viene definita come "elettricità statica". La pila voltaica ha prodotto una corrente continua e ha quindi aperto due nuove aree di studio: la produzione di elettricità (per via chimica) e l'azione dell'elettricità sulle sostanze chimiche. Questo secondo filone di indagine fu imboccato da un abile sperimentatore, Humphry Davy, il quale fu in grado di stabilire un legame tra elettricità e chimica. Presso la Royal Institution di Londra, Davy, si accorse che la produzione di energia elettrica da parte della pila voltaica dipendeva dal verificarsi di reazioni chimiche, non solo dal contatto di diversi tipi di metalli, come aveva pensato Volta.

Davy pensò bene quindi di sfruttare la corrente fornita dalla pila per separare i singoli elementi dai composti nei quali erano racchiusi; così facendo egli scoprì numerosi nuovi elementi. Davy osservò che la corrente elettrica era in grado di eguagliare e vincere la normale forza che teneva insieme gli elementi nei loro composti. Basandosi su questa osservazione empirica, egli si convinse che la forza che teneva unite specie chimiche diverse avrebbe dovuto essere di natura elettrica.



L'anno 1808 fu certamente l'*annus mirabilis* per Humphry Davy. In quell'anno scoprì cinque elementi: bario, calcio, boro, stronzio e magnesio. Egli consegnò le sue scoperte ad un pubblico eterogeneo, ma esigente, in due accattivanti conferenze - la prima a giugno e un'altra a dicembre - dello stesso anno. Oltre ad aver segnato due pietre miliari nella sua personale scalata verso l'apice dello *status* di celebrità scientifica e sociale nella Londra "gorgiana", queste conferenze rapirono letteralmente il pubblico [6]. Già l'anno precedente, tuttavia, Davy, usando una cella elettrochimica, era riuscito ad isolare i metalli potassio e sodio (rispettivamente dalla potassa caustica e dalla soda caustica).

L'apparecchiatura elettrolitica utilizzata da Davy era rudimentale ma efficace: una batteria era collegata a elettrodi metallici (inerti) immersi in un liquido contenente il composto che Davy voleva decomporre nei suoi elementi costitutivi. All'inizio, Davy cercò di dissolvere vari composti nell'acqua ed elettrolizzarli in soluzione. Tutti gli esperimenti fallirono: il risultato fu di decomporre l'acqua in idrogeno e ossigeno, lasciando intatto il composto da esaminare. Davy decise di risolvere il problema in maniera drastica: come primo passo fuse i minerali che voleva decomporre. Poiché le temperature richieste erano troppo elevate, aggirò il problema creando un'amalgama con il mercurio. Dopo questo passaggio Davy fece passare la corrente della sua pila voltaica attraverso la massa disciolta. Al passaggio dell'elettricità, egli osservò che si producevano piccoli grumi di metallo argenteo su un elettrodo e si liberava ossigeno gassoso sull'altro. Nel 1809, il chimico tedesco Ludwig Wilhelm Gilbert (1769-1824) propose i nomi *natronium* e *kalium* per gli elementi isolati da Davy [7]. I nomi caddero presto in disuso ma il simbolismo degli elementi, fissato anni dopo da Berzelius, è tuttora in uso: Na e K. L'utilizzo dell'elettricità per la scoperta di moltissimi elementi pose Davy tra i maggiori chimici sperimentali di tutti i tempi. Tuttavia una felice intuizione ha giustamente reso immortale il suo nome: le forze elettriche sono il collante molecolare. Davy svelò ai chimici la natura della disciplina che stavano studiando. Dopo secoli di cieche manipolazioni della materia, egli aveva correttamente individuato nell'elettricità il "messaggero" di tutte le reazioni chimiche.

Dalla cristallizzazione frazionata alle resine a scambio ionico

La cristallizzazione è una transizione di fase della materia, da liquido a solido, nel quale composti disciolti in un solvente solidificano disponendosi secondo strutture cristalline ordinate. Essa è, da un punto di vista fisico, una trasformazione che comporta una diminuzione di entropia. La cristallizzazione frazionata rappresenta un fenomeno relativamente diffuso in natura: essa, ad esempio, dà origine a rocce. Esempi di grossi aggregati salini solidi che sono sotto gli occhi dei meno addentro alla materia sono stalattiti, stalagmiti e i depositi di salgemma. La formazione di una singola particella solida, il germe di cristallizzazione, costituisce il punto d'inizio della cristallizzazione.

Ogni particella o fenomeno fisico che favorisca la formazione del primo germe di cristallizzazione porta al processo di solidificazione. Per esempio, l'immersione nella soluzione di un oggetto solido favorisce la formazione del primo germe (che si deposita su di esso), mentre l'evaporazione, con l'effetto di aumentare la concentrazione, intensifica le interazioni ioniche favorendo l'agglomerazione. In chimica la cristallizzazione è una metodica utilizzata per purificare ed isolare i composti chimici. La sostanza impura in oggetto viene portata in soluzione in poco solvente e viene sottoposta a riscaldamento. Man mano che la soluzione si concentra, cominciano a formarsi i primi germi di cristallizzazione. Il risultato finale consiste nella separazione di una fase solida che viene filtrata. Il filtrato viene quindi riportato in soluzione con un'altra quantità di solvente e si ripete la pratica precedentemente descritta: si effettua cioè la ricristallizzazione, per essere certi di ottenere un composto ad elevato grado di purezza.

La cristallizzazione frazionata, in quanto caso particolare della cristallizzazione, è un processo chimico che avviene per precipitazione controllata di un composto (soluti) in soluzione mediante la variazione di un parametro fisico (pressione, temperatura, concentrazione). Sostanze che cristallizzano in un medesimo (o simile) abito cristallino e che sono composte da ioni con carica elettrica simile tendono a co-cristallizzare totalmente o parzialmente, rendendo vana la possibilità di isolarle singolarmente. Questo è stato uno dei

maggiori problemi nell'isolamento dei 14 elementi delle terre rare. È stato anche la cagione che ha portato i chimici a ritenere di aver scoperto molti più elementi delle terre rare di quelli effettivamente esistenti.

La tecnica dello scambio ionico per certi aspetti anticipa quella della cristallizzazione frazionata, anche se il suo utilizzo tardò a trovare impiego: essa può essere fatta risalire alla Sacra Bibbia, dove si trova un passo nel quale Mosè ottiene acqua potabile da acqua salmastra. Oltre due millenni dopo, i chimici agrari H.S. Thompson e J.T. Way scoprirono il fenomeno dello scambio di cationi: essi notarono che alcuni terreni avevano una maggiore capacità di altri di assorbire l'ammoniaca dai fertilizzanti [8]. Analizzando i terreni, osservarono che un complesso di silicati presenti nel terreno svolgeva la funzione di scambio ionico. Essi furono perfino in grado di preparare materiali di questo tipo in laboratorio partendo da soluzioni di sodio alluminato e sodio silicato. Nel 1906, Robert Gans utilizzò questi materiali nel primo tentativo di addolcire l'acqua. Il passo successivo fu la realizzazione dei primi scambiatori di ioni organici che furono sintetizzati nel 1935; quasi accidentalmente, i chimici B.A. Adams e B.L. Holmes osservarono che i dischi fonografici frantumati mostravano proprietà di scambio ionico [9]. Fu tuttavia con gli anni Quaranta, che entrarono in scena le resine a scambio ionico. Grazie allo sviluppo della chimica organica industriale per mezzo della copolimerizzazione dello stirene, reticolato con divinilbenzene, furono realizzate resine molto stabili e con capacità di scambio molto superiori rispetto a quelle precedenti.

La scoperta di un elemento, l'ultimo elemento delle terre rare a mancare all'appello, è l'esempio storico che ha coinvolto entrambe queste tecniche analitiche [10]. Nel 1902 il chimico ceco Bohuslav Brauner (1855-1935), seguace della teoria periodica di Dmitrii Mendeleev (1834-1907), osservò che le differenze nelle proprietà chimico-fisiche tra il neodimio e il praseodimio erano troppo marcate affinché questi due elementi fossero consecutivi. Ipotizzò che potesse esistere un elemento intermedio. Sulla sola conoscenza del peso atomico, Brauner ebbe un'intuizione felice. Infatti nel 1902 non era stato ancora definito il concetto di nume-

ro atomico: per i chimici si era aperta la caccia al sessantunesimo elemento. Due team di scienziati si misero sulle tracce di questo elusivo metallo. Il primo gruppo di ricercatori a farsi avanti, sebbene in forma molto prudente (depositarono un plico sigillato all'Accademia dei Lincei), fu quello italiano guidato da Luigi Rolla (1882-1960). Rolla e il suo pupillo Lorenzo Fernandes (1902-1977), frazionando quasi due tonnellate di sabbie monazifere, ritennero di aver isolato tracce dell'elemento 61 che battezzarono *florenzio*, in onore della città di Firenze. Due anni più tardi un gruppo di scienziati americani dell'Università dell'Illinois, B. Smith Hopkins (1873-1952), Leonard Yntema (1892-1976) e Allen Harris (1901-1972) pubblicò la scoperta dello stesso elemento, sfruttando tecniche di cristallizzazione frazionata molto simili a quelle dei colleghi italiani. Chiamarono questo elemento così a lungo cercato, *illinio*, in onore dello stato dell'Illinois e della locale squadra di baseball, gli "Illini". Anni più tardi, pesanti critiche si abbatterono sui due gruppi di ricerca. L'elemento 61, tanto pubblicizzato, tanto cercato, tanto atteso non si riusciva ad isolare: i chimici fiorentini probabilmente scambiarono per nuovo un elemento già noto, il samario, mentre gli americani furono tratti in un inganno analogo da una miscela di neodimio e praseodimio.

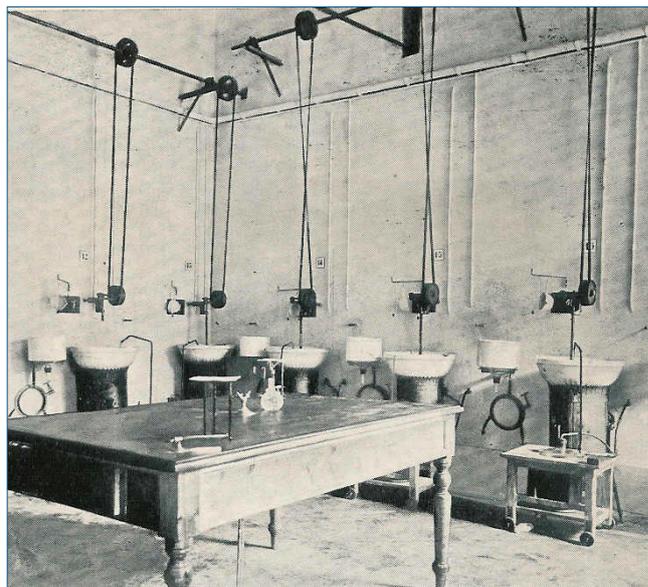


Fig. 4 - Laboratorio fiorentino del professor Rolla attrezzato per la cristallizzazione frazionata delle terre rare; fine anni Venti. Foto di proprietà degli autori

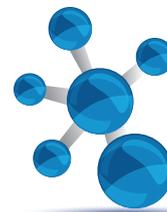


Fig. 5 - A sinistra Jacob A. Marinsky, scopritore del sessantunesimo elemento, in compagnia di uno degli autori; 31 agosto 1998. Foto di Marco Fontani

Il sessantunesimo elemento della tavola periodica fu “prodotto artificialmente” nel 1945 presso i Clinton Laboratories da Jacob A. Marinsky (1918-2005), Lawrence E. Glendenin (1918-2008) e Charles D. Coryell (1912-1971): utilizzando le più recenti resine a scambio ionico essi riuscirono ad isolare tra i prodotti di fissione dell’uranio, in un rudimentale reattore nucleare a grafite, alcune “preziose scorie”. In esse i giovani chimici rinvennero un tesoro: una “manciata” di atomi del tanto ricercato elemento 61. Dopo una lunga attesa di quasi due anni fu annunciata la scoperta dell’elemento. Incerti se chiamarlo *clintonio*, in onore dei laboratori di ricerca, i tre chimici si ritrovarono in casa di Coryell per affrontare la questione: non trovando un accordo su nessun nome, a fine serata la moglie del padrone di casa propose in nome *prometeo*. La proposta fu accolta sebbene la parola fine a questa storia l’abbia posta la IUPAC cambiandone leggermente la grafia in promezio.

In conclusione, nell’anno che l’Unesco ha dedicato alla tavola periodica degli elementi, possiamo affermare che tutte le tecniche di analisi chimica sono state utili a far scoprire, purificare ed isolare quegli elementi che compongono quell’*icona pop* che nacque a San Pietroburgo nel lontano 1869. Tecniche di analisi chimica messe a punto da scienziati per aiutare quel chimico russo che, al pari di tutti gli uomini, cercava di dare ordine alla materia, al Creato: infatti “*tutto ciò che è umano comincia con l’ordine, perché lo spirito umano è alito divino*” [11].

BIBLIOGRAFIA

- [1] F.M. Cataluccio, Chernobyl, Sellerio, 2011, 114.
- [2] C.M. Beck II, *Anal. Chem.*, 1994, **66**, 224A.
- [3] M. Fontani, M. Costa, M.V. Orna, *The Lost Elements: the Periodic Table’s Shadow Side*, Oxford University Press, 2015, 73.
- [4] M.E. Weeks, *Journal of Chemical Education*, 1932, **9**(7), 1231.
- [5] Oliver Sacks, “Everything in Its Place”, *The New York Times Magazine*, (1999), in <http://movies2.nytimes.com/library/magazine/millennium/m1/sacks.html>, ultimo accesso 15 gennaio 2019.
- [6] <https://www.sciencehistory.org/distillations/magazine/science-and-celebrity-humphry-davys-rising-star>, ultimo accesso: 1° aprile 2019.
- [7] H. Davy, *Annalen der Physik*, 1809, **31**(2), 113; in particolare nota dell’editore, L.W. Gilbert, a pagina 157; L.W. Gilbert, *Annalen der Physik*, 1820, **1**(band IV), 1.
- [8] W.H. Dennis, *Metallurgy*, 1863-1963, *Transaction Publishers*, 1963, 352.
- [9] S. Kumar, S. Jain, *Journal of Chemistry*, Hindawi Publishing Corporation, 2013, 1, DOI: **10.1155/2013/957647**.
- [10] M. Fontani, M. Costa, M.V. Orna, *The Lost Elements: the Periodic Table’s Shadow Side*, Oxford University Press 2015, 289.
- [11] R. Borchardt, “Il giardiniere appassionato”, Adelphi, 2010, 13.

The Role of Chemical Techniques in the Isolation of the Elements

Since the end of the 18th century chemists have been wondering how many elements there are, and how to give them an order. It is interesting to rediscover the role of both physical and chemical techniques for the analysis and separation of the elements. Physical methods will not be included in the present discussion. Chemical methods can be divided in four categories: wet chemistry, electrolysis, fractional crystallization, and ion-exchange resins. These topics will be analyzed in more depth and debated separately.