

RENDICONTI DELLA  
ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE  
DETTA DEI XL

MEMORIE E RENDICONTI  
DI CHIMICA, FISICA, MATEMATICA  
E SCIENZE NATURALI



SERIE VI, VOL. III, FASC. 1, 2022  
140° DALLA FONDAZIONE (1782)  
ROMA

---

© Copyright 2022

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE DETTA DEI XL  
ROMA

---

ISBN 978-88-98075-51-5

ISSN 0392-4130

---

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE DETTA DEI XL  
00161 Roma - Via L. Spallanzani, 7

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE  
DETTA DEI XL

---

# **XIX Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica**

Aula Magna del Dipartimento  
di Matematica, Informatica ed Economia,  
polo di Macchia Romana

**26-28 Settembre 2022**

a cura del Prof. Maurizio D'Auria



Via dell'Ateneo Lucano, 10 – Potenza





Rendiconti  
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL  
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,  
Matematica e Scienze Naturali*  
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 39-47  
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

## Il sottile fascino dell'autorità. I chimici e l'alchimia in Francia dopo Lavoisier

LEONARDO ANATRINI

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia • E.mail: leonardo.anatrini@unimore.it  
Università degli Studi di Siena • E.mail: leonardo.anatrini@unisi.it

### **The Discreet Charm of Authority. Chemists and Alchemy in France After Lavoisier**

**Summary** – There were two prerequisites for the transmutability of metals to become once again a scientifically acceptable subject of research from the 1810s: new hypotheses concerning the mutual reducibility of certain elements, such as those of integer multiples and protyle put forward by the British chemist and physician William Prout, and the experimental confirmation that chemical compounds with the same percentage composition could be substances with very different properties, i.e. the discovery of isomerism and allotropy. This paper aims at illustrating how these premises were exploited to legitimise the transmutation hypothesis.

**Keywords:** transmutation, Jöns Jacob Berzelius, Jean Baptiste André Dumas, ammonium

**Riassunto** – Due furono i presupposti indispensabili perché, a partire dagli anni '10 del XIX secolo, la trasmutabilità dei metalli tornasse ad essere un tema di ricerca scientificamente accettabile: nuove ipotesi riguardanti la riducibilità reciproca di alcuni elementi, quali quelle dei *multipli interi* e del *protilo* avanzate dal chimico e medico inglese William Prout, e la conferma sperimentale che composti chimici con medesima composizione percentuale potessero essere sostanze con proprietà assai diverse fra loro, vale a dire la scoperta dell'isomeria e dell'allotropia. Il presente contributo mira ad illustrare come questi presupposti vennero sfruttati al fine di legittimare l'ipotesi della trasmutazione.

**Parole chiave:** trasmutazione, Jöns Jacob Berzelius, Jean Baptiste André Dumas, ammonium

Le sperimentazioni condotte sullo scorcio del XVIII secolo, contribuendo a descrivere la regolarità e la ripetibilità che caratterizzavano un'ampia gamma di composizioni chimiche e che portarono, ad esempio, all'enunciazione della legge delle proporzioni definite di Joseph-Louis Proust (1754-1826), furono propedeutiche al diffondersi di una nuova idea di atomismo. Del resto, con un semplice passaggio logico era possibile dedurre, a partire dalle regolarità osservate nelle reazioni chimiche, una necessaria regolarità nella composizione di una materia di natura corpuscolare. L'atomo originariamente teorizza-

to ai tempi di Democrito (ca. 460 - ca. 370 a.C.), tuttavia, era l'entità minima di una materia uniforme e continua intesa ontologicamente e non strumentalmente, le cui parti, essenzialmente identiche, si differenziavano solamente per misura, forma e moto. In tale sistema, il cambiamento chimico era generato da alterazioni – che avvenivano nel vuoto – nell'ordinamento degli atomi in strutture 'molecolari'. Tutto però, a partire dai risultati prodotti dalla riforma chimica di Georg Stahl (1659-1734), lasciava presagire l'esistenza di un'intera gamma di elementi caratterizzati da qualità esclusive.

Fu dal desiderio e dalla necessità di quantificare le unità ultime della materia a scopi di calcolo, puntando ad una conseguente matematizzazione della chimica, che nacque la teoria atomica di John Dalton (1766-1844). Con essa, lo scienziato inglese univa speculazioni di ordine quantitativo di origine democritea ad una materia categorizzata qualitativamente, superando quegli stessi limiti oltre i quali Lavoisier aveva relegato un'indagine puramente filosofica di ascendenza empedoclea. In uno sforzo di speranzoso pragmatismo, l'atomo di Dalton aveva cessato di essere l'onnipresente manifestazione della materia, diventando l'unità di misura fisica delle 'sostanze semplici' lavoisieriane [14, 83-84].

Per quanto l'accettazione della realtà fisica dell'atomo daltoniano, nella prima metà del XIX secolo, non sia certo stata straordinariamente diffusa in Francia, le teorizzazioni dello scienziato inglese avevano posto l'accento sull'importanza della quantificazione garantita dal sistema dei pesi atomici nell'elaborazione di categorizzazioni e classificazioni necessarie per stabilire le basi di una scienza dei rapporti chimici, prodromo alla chimica strutturale. E fu proprio in questo campo che nel 1826 uno dei padri della chimica organica, Jean Baptiste André Dumas (1800-1884) [21; 17, 81-88; 47, 15-16], pose le proprie ricerche all'attenzione della comunità scientifica internazionale. Applicando sperimentalmente l'ipotesi di Amedeo Avogadro (1776-1856) [4] – che conobbe e studiò attraverso la versione di André-Marie Ampère (1775-1836) [1] –, propose nuovi metodi per la determinazione del peso molecolare dei gas, ottenuto attraverso la densità dei volumi, riuscendo a ottimizzare e persino a correggere i dati di Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), che con il calcolo del peso atomico di 45 diversi elementi e della composizione centesimale di circa 2000 composti chimici [59, 151-152], viene giustamente ricordato come il più grande sperimentatore del primo Ottocento<sup>1</sup>. Il celebre svedese, nel 1818 giunse all'elaborazione di una prima serie di pesi atomici basata su dati interamente sperimentali [9, III, 104-130; 30; 43, 270-

278], confutando la possibilità di una totale generalizzazione dell'ipotesi elaborata nel 1815 dal medico e chimico William Prout (1785-1850) mirante ad illustrare i pesi atomici degli elementi come multipli interi di quello dell'idrogeno [51]. Dopodiché, a partire dal 1826 rifondò la sua stessa indagine – e in tale contesto il desiderio di rivalsa provocato dal saggio di Dumas deve aver giocato un ruolo non secondario – attraverso l'adozione strumentale di due novità di particolare importanza per la ricerca chimica. Nel 1819, infatti, il chimico Pierre Louis Dulong (1785-1838) e il fisico Alexis Thérèse Petit (1791-1820), riuscendo a calcolare il calore specifico di 13 diversi elementi (11 metalli, tellurio e zolfo) ne scoprirono la simile capacità termica (fra 0,3675 e 0,3830, per O = 1 e H<sub>2</sub>O avente c = 1), vale a dire la costante descrivente il prodotto fra peso atomico relativo di un elemento e il suo calore specifico [20 e 31]<sup>2</sup>. Lo stesso anno, il tedesco Eilhard Mitscherlich (1794-1863), nel corso di una lunga sperimentazione cristallografica, avanzò un'ipotesi riguardante la possibilità che sostanze con proprietà chimiche e forma cristallina simili, battezzate isomorfe proprio da Berzelius, potessero avere formule simili [44; 45; 42; 54, 81-90]<sup>3</sup>.

Il desiderio di Dumas era quello di riuscire a ottenere dei principi stabili e sperimentalmente consistenti, e l'opportunità che l'ipotesi d'Avogadro offriva era irripetibile. Tuttavia, sin dai tempi della prima pubblicazione di rilievo – come risulta anche dalla lettura della sua tesi di dottorato del 1832 [24] – il giovane chimico si era trovato alle prese con un problema difficilmente sormontabile, riscontrato nella misurazione dei volumi molecolari del fosforo contenuto nel suo tricloruro (PCl<sub>3</sub>) e dello zolfo contenuto nell'acido solfidrico (H<sub>2</sub>S).

Nel caso particolare di fosforo e cloro, facendo reagire un volume del primo con tre volumi del secondo, Du-

<sup>1</sup> Dumas certamente conobbe i risultati delle ricerche di Berzelius sul calcolo dei pesi atomici – pubblicati sia nel terzo volume del suo *Lärbok i kemien* [9] che nel quinto del periodico da lui fondato insieme a Wilhelm Hisinger, 1766-1852 (*Afhandlingar i fysik, kemi och mineralogi*) – attraverso la loro versione francese, pubblicata nel 1819 sotto la diretta supervisione dell'autore [10].

<sup>2</sup> Per rendersi conto del grado di esattezza raggiunto dai due scienziati nel calcolo della costante (pari a 6,2 cal/°C), basterà moltiplicare la media dei valori descrittivi la capacità termica degli elementi per l'unità di misura del peso atomico derivata dai dati di Berzelius (O = 100) e dividerla per l'attuale peso atomico dello stesso elemento (O = 15,9994). Il risultato ottenuto è 6,004.

<sup>3</sup> Sull'applicazione della costante termica e dell'isomorfismo al calcolo dei pesi atomici da parte di Berzelius, rimandiamo a [55; 60, 78-83; 64]. I risultati ottenuti da Berzelius vennero divulgati in Francia attraverso una nuova traduzione del *Lärbok* e la seconda edizione della monografia del 1819 [11 e 12].

mas non riusciva a spiegarsi come fosse possibile che, qualora Avogadro e Ampère avessero avuto ragione, si generassero non uno, bensì due volumi di tricloruro di fosforo [21, 354-355]. La causa del problema risiedeva nella diffusa confusione terminologica legata al lessico atomistico, che Dumas aveva declinato a partire da quello di Ampère, giungendo persino a ipotizzare la divisibilità delle molecole elementari, pur non intuendo la tetraatomicità del fosforo liquido e la diatomicità del cloro allo stato gassoso (e, più in generale, non immaginando che gli elementi posti in reazione potessero dare luogo a 'variazioni di atomicità'), ricorrendo infine ad espressioni variamente criticate, quando non ossimoriche, come quella di 'mezzo-atomo' [21, 339; 22, I, xxxviii-xxxix]. Inoltre, i valori da lui calcolati si basavano sui pesi atomici di Berzelius del 1818, che per fosforo e cloro erano il doppio del dovuto [9, III, 106-107]<sup>4</sup>, perciò si sarebbe aspettato una reazione di sintesi del tipo  $P + 3Cl \rightarrow PCl_3$ , mentre ciò che ottenne fu  $P_4 + 6Cl_2 \rightarrow 4PCl_3$ .

A partire dal 1828 Dumas si sforzò di adottare il criterio avogadrano della distinzione fra particella fisica e particella chimica, sottolineando costantemente la realtà materiale della prima e la dimensione puramente strumentale della seconda, ma per quando il collega Marc Antoine Gaudin (1804-1880), con la sua *Recherche sur la structure intime des corps inorganiques* (1833) [32], ebbe portato all'attenzione della comunità scientifica l'importanza di una nomenclatura stabile che prevedesse una distinzione netta fra concetti quali 'molecola' e 'atomo', soprattutto in virtù dei sempre più incoraggianti risultati forniti dalla ricerca relativa ai pesi atomici (a proposito dei quali Gaudin ipotizzò per primo la poliatomicità di alcuni elementi), Dumas si era definitivamente convinto che i risultati della sua sperimentazione offrissero un'evidente confutazione dell'ipotesi di Avogadro [17, 83-84].

Come è stato persuasivamente illustrato da alcuni studiosi [41, 73-80; 49], alla base del rifiuto di Dumas c'era sicuramente la percezione che quella relativa all'atomismo fosse poco più di una fede e che in fondo nessuna sperimentazione sarebbe stata in grado di rendere conto dell'esistenza di entità fisiche ultime. Perciò, di fronte ai risultati dei suoi esperimenti, piuttosto che interrogarsi sul valore ontologico di quelle che probabilmente considerava astrazioni non indispensabili, scelse, pur ricono-

scendo l'utilità strumentale del sistema elaborato da Dalton, di non prodursi in elaborazioni teoriche circa la dimensione fisica di enti ultimi. Di converso, dimostrò un sempre maggiore interesse verso un'altra ipotesi, che si poggiava su dati sperimentali i quali, seppur variamente manipolati e puntando ad una teorizzazione ancora più generale, vennero plausibilmente preferiti in quanto utilizzabili per indagare i rapporti intercorrenti fra i vari elementi senza necessariamente inoltrarsi in elucubrazioni sulla natura della materia. L'ipotesi in questione è quella dei multipli interi dell'idrogeno elaborata da Prout, che senza dubbio Dumas conobbe grazie all'edizione francese di *An Attempt to Establish the First Principles of Chemistry by Experiment* (1825) [62 e 63], del principale allievo nonché primo biografo di Dalton, Thomas Thomson (1773-1852). A questo si aggiunsero i due fattori rammentati all'inizio della presentazione che plausibilmente, in un periodo precedente alle ricerche concernenti la valenza e agli studi di stereo-chimica, portarono Dumas a dubitare sempre più del valore della teoria atomica.

Nel 1828 il chimico tedesco Friedrich Wöhler (1800-1882) documentò il primo caso di isomeria, dimostrando involontariamente la convertibilità fra composti organici e inorganici. Cercando di ottenere cianato d'ammonio ( $CH_4N_2O$  – un sale inorganico), riuscì invece a sintetizzare l'urea ( $CO(NH_2)_2$  – composto organico contenuto nelle urine di quasi tutti gli organismi tetrapodi), facendo reagire sostanze esclusivamente inorganiche, come cianuro d'argento ( $AgCN$ ) e cloruro d'ammonio ( $NH_4Cl$ ). Tale esperienza portò alla formulazione del principio di isomeria, per il quale sostanze aventi proprietà fisiche e comportamento chimico assai differenti possono avere medesima massa molecolare e composizione percentuale [40, 73-102; 46]. Allo stesso modo, qualcosa di simile veniva osservato per le sostanze elementari (all'epoca soprattutto nel carbonio e nello zolfo), grazie alla natura polimorfica di alcuni *corps simples*, descrivendo fenomeni ai quali nel 1841 Berzelius darà il nome di allotropia [39].

Convinto assertore dell'assoluta precedenza dei dati della sperimentazione nell'elaborazione di ipotesi giudicate altrimenti arbitrarie e aprioristiche, Dumas, forse per un difetto di immaginazione e un eccesso di fiducia nei confronti della matematizzazione della ricerca scientifica, abbandonò le profetiche intuizioni di Avogadro e Ampère in favore di dati atti a quantificare un'illusione.

A questo punto sarebbe tanto facile quanto errato fare di Dumas un seguace anche dell'altra celebre ipotesi di Prout, atta a definire l'unità della materia a partire da

<sup>4</sup>  $Cl = 221,325$  (con  $O = 100$ )  $\rightarrow Cl = 69,164$  invece di  $35,453$ ; peso del fosforo diatomico presente nella molecola di anidride fosforica ( $P_2O_5$ , ma descritta all'epoca come  $PO_5$ ) =  $196,15 \rightarrow P = 61,71$  invece di  $30,9738$ .

un misterioso elemento primordiale chiamato protilo ed enunciata per la prima volta un anno dopo l'ipotesi dei multipli interi dell'idrogeno [52], distinta da seppur sovrapponibile ad essa. Come già accennato, il primo conobbe l'opera del secondo tramite la mediazione di Thomson, il quale fu tanto ammaliato dall'ipotesi dei multipli interi quanto certamente contrariato – soprattutto in virtù del grado di probabilità che attribuiva alla teoria daltoniana – dalla possibilità di tornare a discutere dell'unità della materia.

Dumas aveva sagacemente intuito come la spiegazione dell'isomeria e dei vari fenomeni di polimorfismo, come ad esempio l'allotropia, passasse dall'indagine non solo della composizione percentuale dei corpi, ma anche della disposizione strutturale dei loro costituenti; tuttavia, in assenza di una terminologia stabile e di una chiara distinzione fra 'atomo' e 'molecola', veniva a smarrirsi il vincolo atto ad indicare l'elemento quale limite della decomponibilità qualitativa e così, di fronte all'apparente sovrapponibilità e proporzionalità fra i pesi atomici di elementi propri della chimica minerale, dovette sembrare naturale a Dumas domandarsi se non fosse effettivamente possibile 'convertire una specie in un'altra', trasmutare la materia. Come se non bastasse, c'era un'intera tradizione di studi che ruotava intorno al concetto di trasmutazione dei metalli, che nel più incredibile dei modi e in seno all'élite della ricerca scientifica francese, tornò a far sentire il peso della propria autorità, come testimoniato da una delle più celebri opere di Dumas, le *Leçons sur la philosophie chimique*, date alle stampe nel 1837 [25]. Particolarmente interessante, e utile a chiarire come le conoscenze alchemiche di Dumas provenissero da uno studio tanto meditato quanto parziale delle fonti, è il tentativo di descrizione *in chiave chimica* di un supposto procedimento atto alla confezione della pietra filosofale, estratto da un'opera dell'alchimista inglese del XV secolo George Ripley (ca. 1415-1490). Dumas adottò un'ermeneutica ignara delle valenze filosofiche e simboliche dello scritto da lui scelto, interpretandolo alla luce delle proprie conoscenze chimiche ed utilizzando come sola bussola le variazioni visive e termiche descritte, decodificando le varie entità come i significanti di un'allegoria a chiave e giungendo alla conclusione che la pietra filosofale di Ripley non fosse altro che acetone ( $C_3H_6O$ ), ottenuto per distillazioni reiterate dell'acetato di piombo -  $Pb(CH_3COO)_2$  [25, 30-32].

È curioso notare, in un simile atteggiamento, l'adozione di un approccio speculare, nei confronti della testimonianza scritta, da parte degli scienziati e di coloro i quali diverranno, nella seconda metà del secolo, i *nuovi* alchimisti. Se infatti i secondi sono passibili di essere ac-

cusati di comportamenti antiscientifici nella costante sostituzione del metodo sperimentale con l'autorità testuale, alla quale attribuivano generalmente un valore assai maggiore, i primi ricorsero a metodi antistorici, scegliendo accuratamente i soli dati utili all'elaborazione di una tradizione non meno irrealistica di quella sulla quale gli ermetisti basarono la propria ermeneutica.

Considerando l'imprescindibile precedenza che Dumas attribuiva ai dati sperimentali, riesce difficile pensare che possa essersi dedicato ad uno studio tanto interessato dei testi alchemici prima che i suoi calcoli relativi ai pesi atomici suscitassero in lui dubbi probabilistici. Fatto sta che le motivazioni che lo portarono a stabilire la possibilità di un qualche legame fra sovrapponibilità e proporzionalità dei pesi atomici di molti metalli e il concetto di trasmutazione, scaturissero dall'incapacità di riuscire ad interpretare i dati dei suoi esperimenti preservando l'ipotesi di Avogadro. Quello di cercare nella tradizione millenaria che aveva elevato a vessillo un processo che forse era in grado di risolvere i suoi dubbi era la cristallizzazione di un limite umano, il quale celava un insaziabile desiderio di conoscenza e non necessariamente l'adesione a una qualsivoglia forma di pensiero esoterico. E Dumas certamente pensò di superare l'incompatibilità fra alchimia e chimica quantificandone lo studio, in modo da estrarne dei dati utili alla propria ricerca. Si trattava però di un processo pericoloso, soprattutto da un punto di vista valoriale. L'alchimia era stata tirata in ballo per raggiungere una *verità* che la chimica, per quanto ipoteticamente, non stava riuscendo neanche a descrivere in maniera esaustiva. Il rischio implicito era quello di attribuire alle due discipline un valore gnoseologico simile se non sovrapponibile, ponendo l'alchimia, già pervenuta da tempo al concetto di trasmutazione, in una posizione privilegiata, e stabilendo così un parallelo epistemologicamente nullo, ma logicamente consistente e facilmente fraintendibile, fra un'autorità testuale e un'autorevolezza scientifica non più chiaramente distinte. Senza contare che l'intera teoria alchemica poggiava su un concetto di unità della materia che, a fronte di una eventuale conferma scientifica della trasmutazione, avrebbe offerto un'opportunità di generalizzazione difficilmente evitabile.

A dispetto dei propri ideali, Dumas scelse di credere per vedere, ma, nonostante ciò, con ogni probabilità non si rese mai pienamente conto di quanto il valore dei dati della propria ricerca sperimentale fosse contingente alla sua personale interpretazione degli stessi. Inoltre, ci fu almeno un terzo fattore che lo indusse ad interrogarsi sulla plausibilità della natura elementale di molte delle sostanze semplici della chimica minerale. Un fattore scaturito



dal campo di indagine nel quale registrò alcuni dei suoi più grandi successi, quello delle sostituzioni chimiche.

Nel 1833 Dumas aveva intrapreso, insieme ai suoi allievi, una intensa campagna sperimentale relativa ai processi di clorurazione dei composti organici e, per l'anno successivo, ebbe raccolto sufficienti dati concernenti l'azione del cloro sull'essenza di trementina e sull'etanolo ( $C_2H_5OH$ ) per affermare la capacità di questo elemento di sostituirsi all'idrogeno 'atomo per atomo' in detti composti, i quali presentavano tuttavia proprietà chimiche pressoché identiche [24; 29, 31-38]. In tal modo, rinsaldò le proprie convinzioni relative al fatto che tali proprietà dipendessero più dalla disposizione che non dalla natura delle particelle.

Nell'ottava delle *Leçons*, le osservazioni del chimico circa l'ipotetica trasmutabilità degli elementi poggiano su tre diversi principi: isomeria, allotropia e supposta proporzionalità diretta osservabile secondo il peso atomico di diversi elementi (16 metalli, tellurio e zolfo) [25, 316-320]. Formulazioni e osservazioni in grado di descrivere il cambiamento di specie prodotto da una trasmutazione, ma non prove della natura composita dei metalli. Da qui la circospezione nella scelta delle parole con le quali Dumas descrive la possibilità e non la probabilità di un'impresa di alchemica memoria. C'era però almeno un dato oggettivo, una *sensata esperienza* che avrebbe potuto essere utilizzata come prova. Si tratta di un terzo fattore, oltre a quelli discussi sin qui, nelle *Leçons* accuratamente omesso (e al quale viene fatta solo una velata allusione [25, 267]) in virtù dell'interpretabilità del fenomeno sul quale tale dato si basava e del fatto che, come unico riscontro sperimentale utile, non rispondeva certo ai criteri di esaustività e rigore sui quali doveva basarsi una teoria.

Nel 1808 Berzelius, insieme all'amico e futuro medico di corte Magnus Martin de Pontin (1781-1858), replicò gli esperimenti che l'anno precedente avevano condotto Humphry Davy (1778-1829) alla scoperta del sodio e del potassio a partire dai rispettivi idrossidi (chiamati *alcali* ancora a quel tempo) [57]. I due svedesi estesero le ricerche di Davy ad un'altra sostanza che per proprietà chimiche assomigliava ai cosiddetti alcali caustici, vale a dire l'ammoniaca ( $NH_3$ ). Sottoponendo ad elettrolisi una quantità di mercurio elettrificata negativamente e posta in contatto con una soluzione acquosa di ammoniaca, produssero una sostanza che aveva l'aspetto di un amalgama [13, 122-130; 43, 203-210; 60, 59-63]<sup>5</sup>. Come spiegare un fenomeno simile, considerando che la natura composita dell'ammoniaca era ben nota?

Messo a parte dell'operato dei colleghi, Davy si era mostrato entusiasta e propenso all'elaborazione di una

classificazione dei metalli – descritti come composti idrogenati – alla base della quale, data la sua instabilità e la natura composita chiaramente discernibile, si trovava l'ipotetico elemento metallico che insieme al mercurio formava l'amalgama, chiamato *ammonium* [18, V, 130-131].

Il sogno stahlian di un principio flogistico metallizzante sembrava di nuovo a portata di mano, soprattutto alla luce del fatto che l'ammoniaca era composta da elementi non metallici [58]. Dallo studio dell'amalgama venne desunta logicamente la formula dell'*ammonium*, parallela a quella dell'attuale ione ammonio (anche se è bene specificare che l'amalgama si forma previa riduzione alcalina o elettrolitica del catione  $NH_4^+$  in radicale ammonio  $NH_4\cdot$ ).

Fu così che Berzelius, nella prima edizione del secondo volume del suo *Lärbok i kemien* (1812) non esitò a inserire l'*ammonium* [9, II, 48-65] nel novero degli elementi ricavabili da terre e alcali, tutti metalli. Inoltre, è in questo libro che si trova la prima chiara sovrapposizione concettuale generalizzata fra i radicali della chimica organica e i metalli, osservabile nel titolo del capitolo dedicato: «Alkaliernas och jordarternas metalliska radikaler» (*Radicali metallici di alcali e terre*) [9, II, v, 45-68].

Il problema interessò anche alcuni fra i maggiori scienziati francesi del tempo. Prima Claude-Louis Berthollet (1748-1822), poi Ampère [8; 2, 16]<sup>6</sup> si interroga-

<sup>5</sup> Risulta particolarmente interessante la frase con cui si conclude la prima parte del resoconto degli esperimenti di Berzelius e de Pontin, nella quale i due scienziati, scusandosi per il tono 'quasi alchemico' delle proprie elucubrazioni, osservano come il fenomeno da loro indagato avrebbe potuto condurre alla 'decomposizione dei metalli' e alla scoperta dei processi necessari per compiere la crisopea, come già sospettato da 'molti chimici': «Och om defra upptäckter just icke föra oss närinare detta i så många sekler fruktlöst eftersträfvade mål, så gifva de oss likväl ett klarare begrepp, och göra på visst sätt möjligheten af metallernas fonderdelning begriplig. Må detta, nästan alchemiftiska resonnement förlåtas oss; men mången chemist anade redan [...] att vi en dag skulle upptäcka guldets sammansättning, och uppfinna sättet att med fördel af dess beståndsdelar sammansätta det» (*E anche se queste scoperte non ci fanno avvicinare all'obiettivo* [i.e. la trasmutazione dei metalli] *così infruttuosamente perseguito per tanti secoli, ci forniscono se non altro un'idea più chiara della decomponibilità dei metalli, rendendone in qualche modo intelligibile la possibilità. Ci sia perdonato questo ragionamento quasi alchemico; tuttavia, molti chimici già avevano previsto [...] che un giorno avremmo scoperto la composizione dell'oro ed elaborato i mezzi per assemblarne i componenti*) [13, 130]. La curiosa amalgama venne indipendentemente scoperta e similmente descritta nello stesso anno [48, IV, 48] anche da Thomas Johann Seebeck (1770-1831) [56] e Johann Friedrich August Götting (1753-1809) [36, I, 247-249].

<sup>6</sup> Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) e Louis Jacques Thénard (1777-1857) – maestro di Dumas – per qualche tempo si mostrarono persino propensi a credere nell'esistenza di un principio flogistico in virtù del quale i metalli sarebbero stati composti idrogenati [33; 34; 35].

rono sulle potenzialità della scoperta di Berzelius e de Pontin, ma di fronte all'impossibilità di giungere ad una soluzione e complici i sempre più approfonditi studi basati su un concetto di elemento ormai consolidato e dedicati al calcolo dei pesi atomici, il fenomeno dell'amalgama di ammonio rimase noto, ma la relativa indagine sperimentale venne quasi completamente accantonata fino alla metà del secolo scorso [5; 7; 61]<sup>7</sup>. Uno dei pochi scienziati a continuare ad interessarsi dell'*ammonium* fu proprio Dumas, che in tre diverse occasioni, nel corso della stesura del suo *Traité de chimie* – fra i più importanti manuali dedicati ad applicazioni tecnico-industriali della ricerca chimica del periodo, alla cui pubblicazione attese per diciotto anni, fra 1828 e 1846 –, si occupò della scoperta di Berzelius e de Pontin e di ciò che essa poteva comportare [22, II, 39-44, III, 634-637, V, 691-692]. Cercando di stabilire una classificazione dei metalli sulla base delle rispettive proprietà chimiche, dopo aver osservato e descritto l'isomorfismo di potassio, sodio, litio, bario, stronzio e calcio, avanzò una congettura circa la natura composita dei metalli (della quale affermò egli stesso la natura fortemente speculativa), osservando come, stando ai dati noti, avrebbe potuto essere plausibile «concludere che l'ammoniaca si trasformi in un metallo quando, ai tre volumi di idrogeno che essa contiene, se ne aggiunge un quarto» [22, II, 43]. Gli anni passarono e per quando Dumas giunse alla stesura del quinto volume del *Traité*, nel 1835, il costante raffronto fra l'*ammonium*, gli alcali e le terre, fece maturare in lui una precisa convinzione. Di fronte all'impossibilità di isolare il favoleggiato metallo, ottenerne l'ossido avrebbe fornito una prova concreta non dell'esistenza di una fase metallica del radicale  $\text{NH}_4\cdot$  (concetto ignoto alla chimica del tempo), ma della natura composita dei metalli, in quanto le proprietà del nuovo *elemento* sarebbero rientrate a pieno titolo nella casistica descritta dai metalli alcalini e alcalino-terrosi [22, V, 691-692].

Prima di affermare la plausibilità di un'ipotesi, chiaramente Dumas riteneva necessario produrre una prova empirica, altrimenti sostenerne la veridicità su base logico-consequenziale avrebbe condotto oltre i limiti di una corrispondenza analogica scientificamente dimostrabile,

<sup>7</sup> Del resto, la soluzione al problema richiedeva conoscenze che non sarebbero state alla portata della ricerca fisico-chimica ancora per svariati decenni e le ragioni alla base del comportamento dell'*ammonium* restano in gran parte da chiarire, previa stabilizzazione della fase metallica del composto, per ora solo teorizzata e ritenuta plausibilmente esistente in particolari condizioni di temperatura e pressione, come quelle ipoteticamente riscontrabili nel nucleo di pianeti come Urano e Nettuno.

sconfinando nel dominio delle convinzioni personali alle quali attribuire arbitrariamente la funzione di principi. Tant'è che il problema dell'*ammonium* nelle *Leçons*, opera con velleità storiche ma dal taglio fortemente programmatico, viene solo accennato trasversalmente tramite il ricorso all'autorità di alcuni 'illustrissimi chimici', Berzelius in testa (e unico a venir citato per nome), i quali avevano 'avanzato delle congetture tali da rendere ipotizzabile la natura composita dell'azoto' [25, 267]. Da qui il progressivo (e definitivo) rifiuto dell'atomismo fisico da parte di Dumas, che sempre più vedeva come un insieme di aleatorie speculazioni su un mondo invisibile, in favore di una ricerca dalle potenzialità classificatorie nettamente maggiori, quella dedicata ai radicali della chimica organica. Forte dei successi riportati nell'elaborazione della teoria della sostituzione, nello stesso anno di pubblicazione delle *Leçons*, redasse insieme ad un altro grande della chimica organica del tempo nonché rivale di lungo corso, Justus von Liebig (1803-1873), un articolo programmatico, quasi un manifesto, col quale venne inaugurata la quest per porre finalmente ordine nel tumultuoso mare dei composti organici, intitolato *Note sur l'état actuel de la chimie organique* [28].

La storiografia della chimica ha sempre sottolineato come Dumas, almeno dall'inizio degli anni '30 in poi, accantonò l'atomismo favorendo il ricorso a grandezze immediatamente misurabili, quali gli equivalenti [17 e 49]. Vero, tuttavia il valore strumentale dell'atomismo non venne mai da lui negato e per conferire una solida rappresentabilità matematica alla propria ricerca, all'indomani delle *Leçons* il francese approntò un'indagine sperimentale rivolta nuovamente al calcolo dei pesi atomici dei principali agenti della chimica organica (carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto) che, insieme alla teoria della sostituzione e a quella dei tipi, gli valsero nel 1843 la medaglia Copley della Royal Society. Proprio nella definizione di 'tipo chimico' offerta da Dumas, infatti, il ricorso all'atomismo rimane centrale, mentre il grande escluso è il concetto di elemento, strumentalmente necessario ma *funzionalmente sostituito* proprio da quello di 'tipo' [26, 158; 27].

Come è ben noto, l'idillio fra Dumas e Liebig ebbe brevissima durata, a causa di discordanze a livello teorico [15, 80-87; 17, 77-80; 19, 84-87; 53, 94-95]. Ironicamente, fu proprio la teoria dei radicali composti di Liebig [38] a fornire il *rationale* per ipotizzare l'analogia che Dumas, in assenza di un ossido di *ammonium*, per rigore metodologico si era rifiutato di enunciare apertamente. A prodursi nell'impresa fu uno dei padri della chimica strutturale, Alexandre-Édouard Baudrimont (1806-

1880), il quale a sua volta adottava almeno in parte l'ipotesi dei multipli interi di Prout. Epitomando quanto da lui sostenuto nel *Traité de chimie* (1844-46), in chimica inorganica, ossigeno, cloro e zolfo si potevano unire ad un metallo per produrre dei composti nei quali quest'ultimo giocava il ruolo di radicale, il quale però, in chimica organica, non era mai costituito da un solo elemento. Dall'accostamento dei dati relativi, Baudrimont ne concluse che i metalli non solo potessero, ma plausibilmente dovessero essere dei *corps composés* [6, I, 68-69, 275].

In anni vicini ai primi studi sulla valenza e all'alba della stereochemica – ma ancora lontani dal perfezionamento della nomenclatura e della concettualizzazione atomistica operato da Stanislao Cannizzaro (1826-1910) alla fine degli anni '50 – la plausibilità di ipotesi quali la trasmutazione dei metalli risultava difficilmente contestabile e inoltre, di fronte all'eventualità che ci fosse del vero in quanto sostenuto da una disciplina, come l'alchimia, con oltre un millennio e mezzo di tradizione alle spalle, più studiosi si adoperarono con due diverse modalità di indagine, al fine di ricavare dalle opere degli alchimisti dei dati scientifici e, idealmente, il segreto della trasmutazione. Alcuni, come Michel-Eugène Chevreul (1786-1889) – altro grande protagonista della ricerca nel campo della chimica organica –, si gettarono anima e corpo nello studio dei testi, peraltro rendendosi almeno parzialmente conto dei limiti che la storiografia del periodo si era autoimposta, cercando, seppur con tutte le carenze metodologiche del caso, di indagare gli aspetti filosofico-religiosi del pensiero alchemico insieme alla sua speculativa tecnica [37]. Altri, come Baudrimont, cercarono persino un contatto diretto con gli adepti, sostanzialmente andando a caccia di alchimisti disposti a parlare, i quali, nella seconda metà del secolo, saliranno ancora una volta agli onori della cronaca [3, 24-32; 16, 185-190; 50, 24-53]. Ma questo è un capitolo di storia della scienza ancora quasi tutto da scrivere.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] AMPÈRE André-Marie, 1814. *Lettre de M. Ampère à M. le comte Berthollet, sur la détermination des proportions dans lesquelles les corps se combinent d'après le nombre et la disposition respective des molécules dont leurs particules intégrantes sont composées*. «Annales de chimie, ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent», 90, pp. 43-86.
- [2] ID., 1816. *Suite d'une classification naturelle pour les corps simples*. «Annales de chimie et de physique», 2, pp. 5-32.
- [3] ANATRINI Leonardo, Marco CIARDI, 2019. *La scienza impossibile. Percorsi dell'alchimia in Francia fra Ottocento e Novecento*. Roma, Carocci.
- [4] AVOGADRO Amedeo, 1811. *Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons*. «Journal de physique, de chimie, d'histoire naturelle et des arts», 73, pp. 58-76.
- [5] BARANSKI Andrzej, Wenzhe LU, 1993. *Voltammetric Study of Ammonium Amalgam*. «Electroanalytical Chemistry», 355, 1/2, pp. 205-207.
- [6] BAUDRIMONT Alexandre-Édouard, 1844-46. *Traité de chimie générale et expérimentale, avec les applications aux Arts, à la Médecine et à la Pharmacie*. Paris, chez J.-B. Baillière (2 voll.).
- [7] BERNAL Michael, J.M., HARRIE, S.W. MASSEY, 1954. *Metallic Ammonium*. «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 114,2, pp. 172-179.
- [8] BERTHOLLET Claude-Louis, 1808. *Observations sur la composition de l'ammoniaque, lues à l'Institut le 24 mars 1808*. «Nouveau bulletin des sciences, par la Société Philomatique de Paris», 1 (1807), pp. 150-152.
- [9] BERZELIUS Jöns Jacob, 1808-18. *Lärbok i kemien*. Stockholm, Tryckt hos Direct. Henr. A. Nordström (3 voll.).
- [10] ID., 1819. *Essai sur la théorie des proportions chimique et sur l'influence chimique de l'électricité [...]*. Paris, chez Méquignon-Marvis, libraire pour la partie de Médecine, rue de l'École de Médecine, n. 3, près celle de la Harpe.
- [11] ID., 1829-33. *Traité de chimie minérale, végétale et animale*. Paris, Firmin-Didot Frères, Libraires-Éditeurs (8 voll.).
- [12] ID., 1835. *Théorie des proportions chimiques, et table synoptique des poids atomiques des corps simples et de leurs combinaisons les plus importantes*. Paris, Firmin-Didot Frères, Libraires-Éditeurs.
- [13] ID., Magnus Martin DE PONTIN, 1808. *Försök med Alkalier och Jordarternas sönderdelning*. «Economiska Annaler med Kongl. Maj:ts Nädigste Tillstånd utgisa af Kongl. Vetenskaps-Academien», 6 (Maggio), pp. 110-130; 6 (Giugno), pp. 113-118.
- [14] BROCK William H., 1985. *From Protyle to Proton. William Prout and the Nature of Matter, 1785-1985*. Bristol-Boston, Adam Hilger Ltd.
- [15] ID., 1997. *Justus von Liebig: The Chemical Gatekeeper*. Cambridge, Cambridge University Press.
- [16] CERRUTI Luigi, 1991. *Il luogo del 'Sunto'*, CANNIZZARO S., *Sunto di un corso di filosofia chimica* (a cura di L. CERRUTI). Palermo, Sellerio, pp. 73-282.
- [17] CHAIGNEAU Marcel, 1984. *J.-B. Dumas, chimiste et homme politique. Sa vie, son oeuvre: 1800-1884*. Paris, Guy Le Prat.
- [18] DAVY Humphry, 1839-40. *The Collected Works of Sir Humphry Davy, Bart.* (a cura di J. DAVY). London, Smith, Elder and Co., Cornhill (9 voll.).
- [19] DRULHON Jimmy, 2011. *Jean-Baptiste Dumas (1800-1884): La vie d'un chimiste dans les allées de la science et du pouvoir*. Paris, Hermann.
- [20] DULONG Pierre Louis, Alexis Thérèse PETIT, 1819. *Recherches sur quelques points importants de la théorie de la chaleur*. «Annales de chimie et de physique», 10, pp. 395-413.
- [21] DUMAS Jean Baptiste André, 1826. *Mémoire sur quelques points de la théorie atomistique*. «Annales de chimie et de physique», 33, pp. 337-391.
- [22] ID., 1828-46. *Traité de chimie, appliquée aux arts*. Paris, chez Béchet jeune (8 voll. e 1 atl.).

- [23] ID., 1832. *Dissertation sur la densité de la vapeur de quelques corps simples*. Paris, Imprimerie de M.<sup>e</sup> V.<sup>e</sup> Thuau.
- [24] ID., 1834. *Recherches de chimie organique*. «Annales de chimie et de physique», 56, pp. 113-154.
- [25] ID., 1837. *Leçons sur la philosophie chimique*. Paris, Bechet jeune.
- [26] ID., 1840a. *Mémoire sur la loi des substitutions et la théorie des types*. «Comptes rendus de l'Académie des Sciences», 10, pp. 149-178.
- [27] ID., 1840b. *Über das Gesetz der Substitutionen und die Theorie der Typen*. «Justus Liebigs Annalen der Chemie», 33, pp. 259-300.
- [28] ID., Justus VON LIEBIG, 1837. *Note sur l'état actuel de la chimie organique*. «Comptes rendus de l'Académie des Sciences», 5, pp. 567-572.
- [29] DUMON Alain, Robert LUFT, 2008. *Naissance de la chimie structurale*. Les Ulis, EDP Sciences.
- [30] ERIKSSON Gunnar, 1992. *Berzelius and the Atomic Theory: The Intellectual Background*, MELHADO Evan M., Tore L. FRÄNGSMYR (a cura di), *Enlightenment Science in the Romantic Era: The Chemistry of Berzelius and its Cultural Setting*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 56-84.
- [31] FOX Robert, 1968. *The Background to the Discovery of Dulong and Petit's Law*. «The British Journal for the History of Science», 4,1, pp. 1-22.
- [32] GAUDIN, Marc Antoine, 1833. *Recherche sur la structure intime des corps inorganiques [...]*. «Annales de chimie et de physique», 52, pp. 113-133.
- [33] GAY-LUSSAC Joseph Louis, Louis Jacques THÉNARD, 1808a. *Sur la décomposition de la potasse et de la soude*. «Annales de chimie, ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent», 65, pp. 325-326.
- [34] IDD., 1808b. *Sur les métaux de la potasse et de la soude*. «Annales de chimie, ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent», 66, pp. 205-217.
- [35] IDD., 1810. *Sur la production d'un amalgame par l'ammoniacque et les sels ammoniacaux*. «Annales de chimie, ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent», 73, pp. 197-214.
- [36] GÖTTLING Johann Friedrich August, 1808-9. *Elementarbuch der chemischen Experimentirkunst*. Jena, bey H. Ch. W. Seidler (2 voll.).
- [37] GRIMAULT Jacques (ed.), 2016. *Écrits alchimiques de Michel-Eugène Chevreul*. [s.l.], La Nouvelle Atlantide.
- [38] HJELT Edvard Immanuel, 1908. *Berzelius - Liebig - Dumas: Ihre Stellung zur Radikaltheorie 1832-1840*. «Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge», 12, pp. 447-482 (ed. or. *Berzelius - Liebig - Dumas i deras förhållande till radikalteorin 1832-1840*. Helsingfors, Edlundska bokhandeln, 1903).
- [39] JENSEN William B., 2006. *The Origin of the Term Allotrope*. «Journal of Chemical Education», 83,6, pp. 838-839.
- [40] KEEN Robin, 2005. *The Life and Work of Friedrich Wöhler (1800-1882)*. Nordhausen, Traugott Bautz.
- [41] KLOSTERMAN Leo J., 1985. *A Research School of Chemistry in the Nineteenth Century: Jean Baptiste Dumas and His Research Students*. «Annals of Science», 42,1, pp. 1-80.
- [42] MELHADO Evan M., 1980. *Mitscherlich's Discovery of Isomorphism*. «Historical Studies in the Physical Sciences», 11,1, pp. 87-123.
- [43] ID., 1981. *Jacob Berzelius: The Emergence of his Chemical System*. Stockholm, Almqvist & Wiksell; Madison (WI), University of Wisconsin Press.
- [44] MITSCHERLICH Eilhard, 1820. *Sur la relation qui existe entre la forme cristalline et les proportions chimiques*. «Annales de chimie et de physique», 14, pp. 172-191.
- [45] ID., 1821. *Om Förhållandet emellan kemiska sammansättningen och krystallformen hos Arseniksyra och Phosphorsyrad Salter*. «Kongliga vetenskaps akademiens handlingar», 9 (III serie), pp. 4-79.
- [46] NICOLAOU Kyriacos C., 2013. *The Emergence of the Structure of the Molecule and the Art of its Synthesis*. «Angewandte Chemie International Edition», 52,1, pp. 131-146.
- [47] NOVITSKI Marya, 1992. *Auguste Laurent and the Prehistory of Valence*. Chur [etc.], Harwood Academic Publishers.
- [48] PARTINGTON James R., 1961-70. *A History of Chemistry*. London, Macmillan (4 voll.).
- [49] PETREL Jacques, 1979. *La négation de l'atome dans la chimie du XIX<sup>ème</sup> siècle: cas de Jean-Baptiste Dumas*. Paris, Centre national de la recherche scientifique, Centre de documentation sciences humaines.
- [50] PRINCIPE Lawrence M., 2017. *Alchemy and Chemistry. Breaking Up and Making Up (Again and Again)*. Washington D.C., Smithsonian Libraries.
- [51] PROUT William, 1815. *On the Relation Between the Specific Gravities of Bodies in Their Gaseous State and the Weights of Their Atoms*. «Annals of Philosophy», 6, pp. 321-330.
- [52] ID., 1816. *Correction of a Mistake in the Essay on the Relation Between the Specific Gravities of Bodies in Their Gaseous State and the Weights of Their Atoms*. «Annals of Philosophy», 7, pp. 111-113.
- [53] ROCKE Alan J., 2001. *Nationalizing Science: Adolphe Wurtz and the Battle for French Chemistry*. Cambridge (MA)-London, The MIT Press.
- [54] SCHÜTT Hans-Werner, 1992a. *Eilhard Mitscherlich: Baumeister am Fundament der Chemie*. München, Oldenbourg.
- [55] ID., 1992b. *Berzelius as Godfather of Isomorphism*, MELHADO Evan M., Tore FRÄNGSMYR (a cura di), *Enlightenment Science in the Romantic Era: The Chemistry of Berzelius and Its Cultural Setting*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 171-179.
- [56] SEEBECK Thomas Johann, 1808. *Beobachtungen über Reduction verschiedener Erden und des Ammoniums*. «Journal der Chemie, Physik und Mineralogie», 5, pp. 482-483.
- [57] SIEGFRIED Robert, 1963. *The Discovery of Potassium and Sodium, and the Problem of Chemical Elements*. «Isis», 54,2, pp. 247-258.
- [58] ID., 1964. ID. *The Phlogistic Conjectures of Humphry Davy*. «Chymia», 9, pp. 117-124.
- [59] SOLOV'EV Jurij Ivanovič, 1976. *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri*. Milano, Mondadori (ed. or.: *Эволюция основных теоретических проблем химии*. Москва, Наука, 1971).
- [60] ID., Viktor Ivanovič KURINNOI, 1980<sup>2</sup>. *Якоб Берцелиус: Жизнь и деятельность*. Москва, Наука.
- [61] STEVENSON David J., 1975. *Does Metallic Ammonium exist?*. «Nature», 258,5532, pp. 222-223.
- [62] THOMSON Thomas, 1825a. *An Attempt to Establish the First Principles of Chemistry by Experiment*. London, printed for Baldwin, Craddock, and Joy (2 voll.).

[63] ID., 1825b. *Principes de la chimie, établis par les expériences; ou essai sur les proportions définies dans la composition des corps* [...]. Paris, Crevot, libraire-éditeur, rue de l'École de médecine, n. 3, près celle de la Harpe (2 voll.).

[64] VAN SPRONSEN Jan W., 1967. *The History and Prehistory of the Law of Dulong and Petit as Applied to the Determination of Atomic Weights*. «Chymia», 12, pp. 157-169.